



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

**OLEJOVÝ SYSTÉM ZÁKLADOVÉHO RÁMU POD PARNÍ
TURBÍNU A GENERÁTOR**

BASE FRAME'S OIL SYSTEM UNDER THE STEAM TURBINE AND GENERATOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Zdeněk Petržela

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Pavel Mazal, CSc.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav konstruování
Student: **Zdeněk Petržela**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Pavel Mazal, CSc.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Olejevý systém základového rámu pod parní turbínu a generátor

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Olejové systémy parních turbín tvoří významný prvek zajištění jejich bezporuchového provozu. V důsledku provozních podmínek jsou vlastnosti použitých olejů značně odlišné od standardního stavu. Je nutné sledovat a vyhodnotit vliv různých parametrů nastavení oběhu oleje (oběhového čísla) pro dosažení optimálního mazání ložisek turbín.

Typ práce: rešeršně syntetická

Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem je hodnocení parametrů olejového systému s turbínovým olejem a vliv procesu jeho stabilizace, uklidnění, filtrace a vychlazení po průběhu pracovním cyklem, v závislosti na oběhovém čísle oleje.

Dílčí cíle bakalářské práce:

- identifikace vlivů, které ovlivňují parametry oleje,
- definice a vysvětlení empirického vzorce pro stanovení oběhového čísla,
- návrh opatření pro zvýšení životnosti turbínového oleje.

Požadované výstupy: průvodní zpráva.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 - 20 stran textu bez obrázků).

Struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/BP_DP/Zasady_VSKP_2017.pdf

Seznam doporučené literatury:

Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně / Technická 2896/2 / 616 69 / Brno

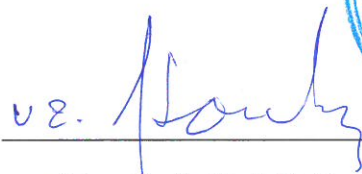
SHIGLEY, Joseph E., MISCHKE, Charles R., BUDYNAS, Richard G.: Konstruování strojních součástí. Translation Hartl, M. a kol., překlad 7. vydání, VUT IUM, Brno, 2010, 1160 s., ISBN 978-80-214-2629-0.

LEYZEROVICH, Alexander S.: Steam turbines for Modern Fossil Fuel Power Plants, Fairmont Press, Lilburn USA, 2007, 530 s., ISBN 0-88173-548-5.

BOYCE, Meherwan P.: Gas Turbine Engineering Handbook, Fourth Edition, Elsevier, Oxford, 2012, 956 s., ISBN 978-0-12-383842-1.

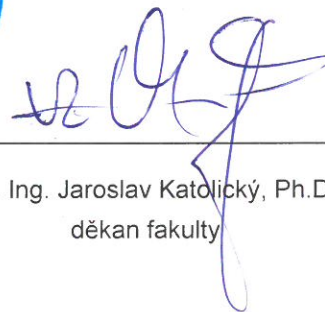
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 7. 11. 2016



prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu





doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce popisuje problematiku olejového hospodářství parních turbín jakožto důležité součásti pro jejich provoz. Úvodní část práce poskytuje přehled vývoje parních strojů a turbín ve světě i na našem území a jejich pracovní cyklus. Hlavní část práce se zabývá funkcí olejového hospodářství a popisuje jednotlivé komponenty systému. Dále je v této práci obsažen souhrn vlastností, které jsou vyžadovány u turbínových olejů a účinků, kterým je olej během průběhu pracovním cyklem vystaven. Závěr bakalářské práce je zaměřen na problémy olejového hospodářství v provozu, jejich příčiny, následky a doporučení k jejich předcházení.

KLÍČOVÁ SLOVA

olejové hospodářství, parní turbína, mazání, hlavní olejová nádrž, turbínový olej

ABSTRACT

This bachelor thesis describes problematics of the lube system of steam turbines as an important part for its operation. The beginning of the thesis offers an overview of steam engine and steam turbine development both at home and abroad and its working cycle. The main part of the thesis discusses lube system functions and components. Next section contains a summary of required turbine oil properties and effects that affect the oil during working cycle. The conclusion of the thesis is focused on lube system operating problems, their causes, consequences and recommendations for their preventing.

KEY WORDS

lube system, steam turbine, lubrication, main oil tank, turbine oil

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PETRŽELA, Z. *Olejevý systém základového rámu pod parní turbínu a generátor*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 50 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Pavel Mazal, CSc.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu práce doc. Ing. Pavlu Mazalovi, CSc. a konzultantům Ing. Pavlu Ždímalovi, CSc., doc. Ing. Janu Fiedlerovi, Dr. a pracovníkům firmy Ekol, spol. s r. o., kteří mi svými cennými radami a poskytnutými materiály pomohli při zpracovávání bakalářské práce.

Rád bych poděkoval i svým rodičům za podporu a vytvoření kvalitních podmínek pro studium.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Olejový systém základového rámu pod parní turbínu a generátor vypracoval samostatně pod odborným vedením doc. Ing. Pavla Mazala, CSc. s využitím informací a zdrojů, které řádně cituji v seznamu použité literatury.

V Brně dne

.....
Podpis

OBSAH

OBSAH	11
1 ÚVOD	12
2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	13
3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	14
3.1 Historie parních strojů	14
3.1.1 Historie parního stroje	14
3.1.2 Historie parní turbíny	17
3.2 Strojírenské společnosti na našem území	19
3.2.1 První brněnská strojírna Brno	19
3.2.2 Škoda v Plzni	20
3.2.3 Další společnosti v ČR	21
3.3 Tepelný cyklus parní turbíny	21
3.4 Rozdělení parních turbín	22
3.5 Konstrukce parních turbín	23
3.5.1 Typická konstrukce	23
3.5.2 Příklady konstrukčních provedení parních turbín	25
3.6 Olejový systém parních turbín	26
3.6.1 Popis funkce systému	27
3.6.2 Parametry olejových systémů	28
3.6.3 Návrh hlavní olejové nádrže	29
3.6.4 Zařízení systému	30
3.6.5 Turbínové oleje	37
4 DISKUZE	43
5 ZÁVĚR	46
6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	47
7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	49
8 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	50

1 ÚVOD

Energetika je oborem zabývající se výrobou elektřiny i tepla, bez níž je nemožné si dnešní dobu představit. Rozvoj elektrických zařízení se datuje již od vyrobení prvního funkčního zdroje stálého elektrického proudu – Voltova článku. O několik let později M. Faraday objevil elektromagnetickou indukci, od níž chyběl malý krok k výrobě prvního alternátoru. Postupem času elektřina nacházela stále větší uplatnění v zařízeních všeho druhu a dnešní doba je na elektrické energii závislá. Existence spolehlivých zdrojů je nezbytná a právě parní turbíny v této oblasti hrají významnou roli.

Podmínkou správného chodu parních turbín je přítomnost olejového hospodářství. To zabezpečuje nejen mazání, ale i regulaci. Předmětem práce je obeznámení s důležitostí olejových systémů, funkcí jednotlivých komponent a oleje, jenž zajišťuje nejen mazání třecích ploch, ale i odvod tepla, mechanických nečistot, apod. Práce rovněž zahrnuje přehled požadavků kladených na turbínové oleje a náležitosti k jejich zajištění. Obsahuje výčet některých potíží způsobených nedodržením správných parametrů a případným řešením.

2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

2

V současné době je velká část elektrické energie, ať už v jaderných či tepelných elektrárnách, vyráběna pomocí parních turbín. K jejich provozu je nezbytné zajistit správné mazání a regulaci, tj. opatřit je olejovými systémy. V současné době jsou konstruovány turbíny s levitujícími rotory na magnetických polštářích a mohlo by se tedy zdát, že olej svou mazací schopnost časem ztratí. Nicméně aplikace této technologie je prozatím omezena na turbíny nízkých hmotností, tudíž oblast zabývající vlastnostmi oleje provozovaného za těchto provozních podmínek a procesy přípravy oleje pro průchod dalším cyklem je stále velmi aktuálním tématem.

Proč je tomuto tématu práce věnována, je skutečnost, že olejové systémy jsou pouze pomocnými jednotkami parních turbín, nicméně ve většině případů, kdy je nutné turbínu nouzově odstavit, je příčinou právě porucha olejového hospodářství. Cílem práce je seznámení s olejovými systémy a vlivy působícími na olej při průchodu pracovním cyklem a stanovení počtu pracovních cyklů za jednotku času (oběhového čísla).

Během oběhu dochází ke změně teploty, znečištění nebo pění oleje. To má za následek změnu jeho vlastností. Dalším úkolem práce je tedy identifikace vlivů a odstraňování jejich následků, tj. provádět stabilizaci, uklidnění, vychlazení a filtraci. Jelikož jsou turbínové oleje finančně náročnou položkou, je zájmem udržovat jejich kvalitu nejen z obavy z nadměrného poškození ložisek. Dílčím cílem práce je tedy i návrh pro zvýšení životnosti oleje.

3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

3.1 Historie parních strojů

3.1.1 Historie parního stroje

O sestrojení vůbec prvního zařízení využívající energii páry, se zasloužil starověký řecký matematik a vynálezce Hérón Alexandrijský již v 1. století př. n. l. Jednalo o stroj pojmenovaný „Aeolipile“ (Aeolus – řecký bůh Větru; Pila – z latiny míč). Tvořila ho dutá koule umístěná mezi dvěma trubkami, na nichž mohla rotovat. Koule byla opatřena tryskami na svém obvodu, kudy z kotle, přes trubky proudila pára a kouli roztáčela. Dle tehdejších pramenů bylo zařízení naivním obchodníkům představováno jako nástroj, pomocí něhož jsou duchové schopni konat užitečnou práci, která může být využita například k otevírání dveří chrámů, či rozpohybování soch. Hérón se však svou myšlenkou dále nezabýval a Aeolipile zůstal pouhou hračkou.

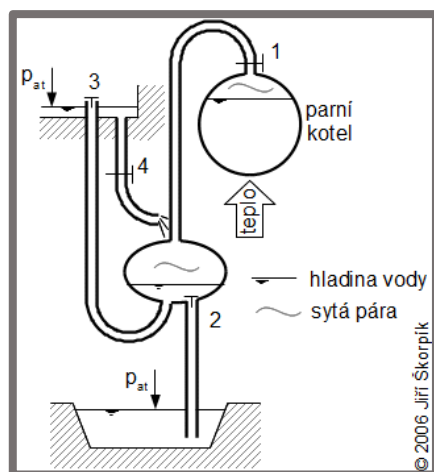


Obr. 3-1 Aeolipile [1]

Dalšími kdo v dávné minulosti popsali parní stroje, byli kupříkladu turecký vševěd Taqi al-Din, který využíval práci stroje k otáčení rožně, dále Giovanni Branca, John Wilkins.

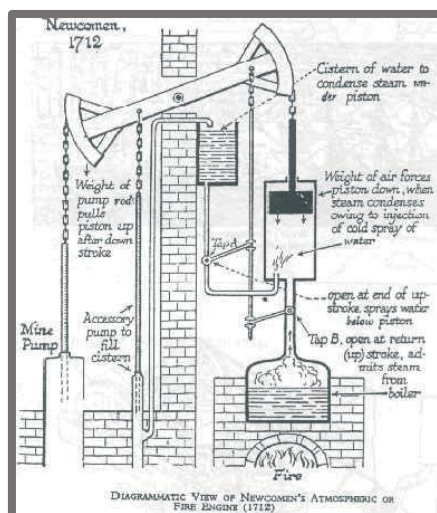
Roku 1681 francouzský fyzik a vynálezce Denis Papin vynalezl bezpečnostní ventil pro předcházení výbuchům tlakových nádob, jelikož údajně roku 1679 při představení svého tlakového hrnce londýnské Královské společnosti hrnec explodoval. Papin si tehdy všimnul faktu, že pára má tendenci nadzvedávat víko tlakového hrnce. Zavedl tedy malý objem vody do válce uzavřeného pístem. Při ohřevu síla páry píst nadzvedla a při následném ochlazení způsobilo návrat pístu do původní polohy.

Na poznatky Papina navázal Angličan Thomas Savery. Zabýval se myšlenkou urychlení čerpání vody z dolů, neboť do té doby bylo využíváno práce zvířat. Saverymu se velmi zalíbil von Guericckův experiment představující sílu vakua a uvědomil si, že stav blízký vzduchoprázdnu by bylo možné vytvořit ochlazením páry. Výsledkem jeho úvah bylo následné získání patentu roku 1698 na první parní stroj, využívající páry k užitečné práci, dle jeho slov, procesu „zvedání vody ohněm“.



Obr. 3-2 Saveryho parní čerpadlo [2]

Inovaci Saveryho čerpadla provedl v r. 1712 Thomas Newcomen nahrazením tlakové nádoby za válec uzavřený pístem. Pod píst se přivedla pára z kotle, která jej vytlačila vzhůru. Následné sprchování válce studenou vodou zapříčinilo jeho vrácení. Pára tedy sloužila pouze k vytvoření podtlaku a práci potřebnou k pumpování vody konal atmosférický tlak.

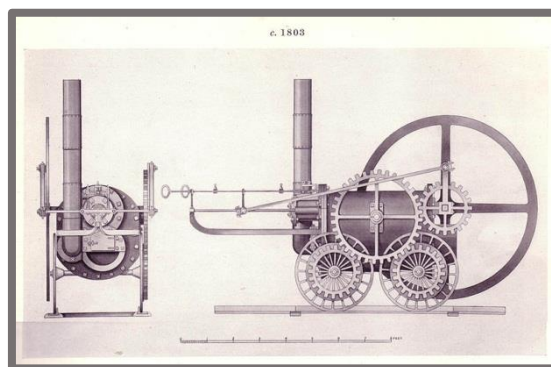


Obr. 3-3 Newcomenův parní stroj [1]

Ohromný krok vpřed uskutečnil skot James Watt, kdy jako mechanik na Univerzitě v Glasgowě, dostal za úkol opravit Newcomenův parní stroj. Tehdy si uvědomil, jak nízkou účinností stroj disponoval a v následujících letech provedl několik úprav

k zefektivnění procesu. Podobně jako v Newcomenově stroji byla pára hnána pod píst, který nadzvedla. Jakmile byl píst ve své horní úvrati, ventil ve spodní části válce se otevřel a tím páře umožnil proudit ke studené komoře, kde zkondenzovala. Díky separátnímu kondenzátoru válec nemusel být ochlazován, což vedlo k značným energetickým úsporám při každém cyklu. Kondenzátor si Watt nechal patentovat v r. 1765. Později následovalo další vylepšení, kdy páru přivedl i z druhé strany pístu nacházejícího se v horní úvrati. Tím sestrojil dvojčinný parní stroj, dvojnásobného výkonu a pozdější přidání odstředivého regulátoru přispělo ke stabilizaci chodu stroje. Pro rozšíření Wattových vylepšení do světa byla stěžejní podpora průmyslníka Matthewa Boultona z Birminghamu. Společně založili továrnu The Boulton and Watt a během let 1775 až 1800 v ní vyrobili okolo pětiset strojů, které měly 20 až 25 procentní spotřebu paliva oproti Newcomenovým.

Roku 1804 důlní inženýr Richard Trevithick z Cornwallu, byl díky svému otci, důlnímu mistru, od mala ve styku s parními stroji sloužícími k pumpování vody. Zde zahájil svou kariéru vynálezce. Trevithick nepoužil svého času nejvyspělejší technologie, systému odděleného kondenzátoru navrženou Watterem. Ve snaze obejít Boultonův a Wattův patent, se zabýval použitím vyšších provozních tlaků, nicméně využití Wattova dvojčinného pístu se vyhnout nedokázal. Dva roky po vypršení patentů Watta roku 1800, sestrojil svůj první vysokotlaký parní stroj a roku 1804 dokončil i první lokomotivu. Poté přišla inovace i ve světě lodní dopravy, kterou byl Fultonův parník.



Obr. 3-4 Trevithickova lokomotiva [1]

Zatímco parní stroje byly ve svých počátcích, je nutno zmínit i teoretika jakým byl Sadi Carnot, který roku 1824 významně přispěl termodynamice svou knihou nesoucí název O hybné síle ohně, ve které představil koncept ideálního tepelného stroje. Nicméně nebýt francouzského fyzika a vynikajícího konstruktéra Émile Clapeyrona, který její obsah srozumitelně předložil odborné veřejnosti, bylo by s největší pravděpodobností Carnotovo dílo zapomenuto.

Další komu se přisuzuje položení základů termodynamiky, jsou Julius Robert von Mayer, James Prescott Joule a Hermann von Helmholtz. Mayer jako první formuloval zákon zachování energie a stanovil tepelný ekvivalent mechanické energie. Nebyl však profesionálním fyzikem a zásluhy na tomto objevu se dlouho připisovaly Jouleovi. Joule ve své knize dokázal, že teplo produkované elektrickým obvodem závisí na odporu vodiče a proudem jím protékajícím – Joulův zákon. Rovněž prokázal, že různé

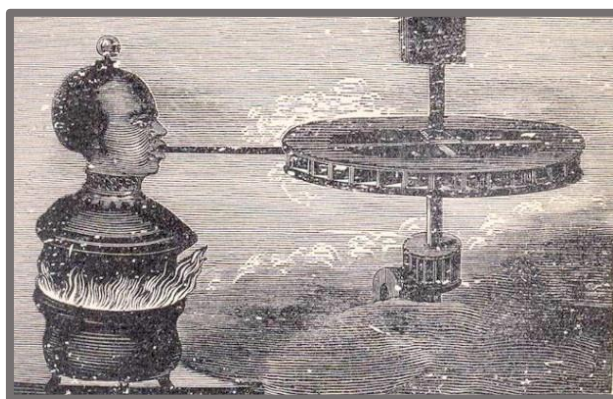
formy energie – mechanická, elektrická a tepelná, jsou ve své podstatě to samé a mohou být přeměňovány jedna ve druhou.

Díky těmto třem vědcům se Carnotovi post mortem dostalo uznání a teplo bylo decizně uznáno jako forma energie. To bylo předpokladem úspěšného rozvoje parních turbín. [1], [2], [3]

3.1.2 Historie parní turbíny

3.1.2

První zmínku o parní turbíně – zařízení převádějící tlakovou a kinetickou energii páry na mechanický pohyb hřídele, lze najít v knize *Le Machine* (1629), která obsahuje mechanické vynálezy italského inženýra a architekta Giovanniho Brancy. Branca sám sebe nepovažoval za vynálezce a tudíž ani nevadilo, že určité části strojů nemají své trojrozměrné funkční protějšky.

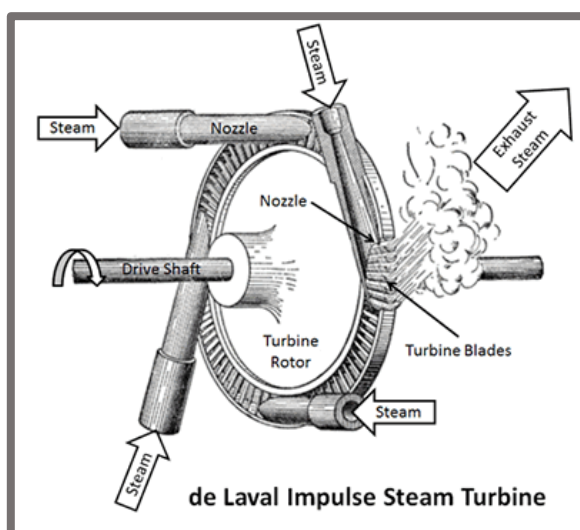


Obr. 3-5 Obrázek z knihy *Le Machine* [26]

Má-li být řeč o hlavních osobnostech, jež se zasloužily o vývoj novodobých parních turbín, pak jsou to Švéd Gustaf de Laval a Angličan Charles Parsons. Oba pánové pracující nezávisle na sobě zapříčinili to, že se parní turbína stala hlavním prostředkem k výrobě elektrické energie.

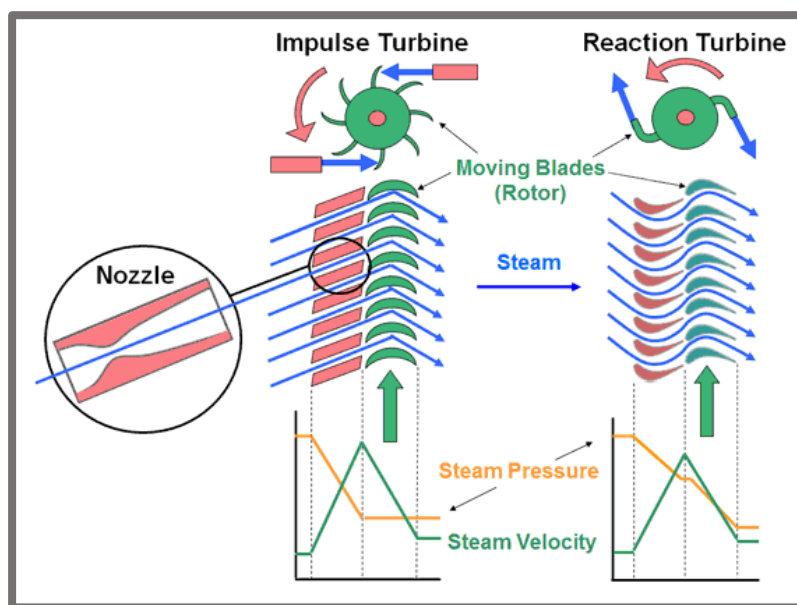
Roku 1878 Laval vynalezl odstředivku na mléko, první zařízení svého druhu, za které získal řadu ocenění na několika průmyslových výstavách v Evropě i zámoří. Pro konstruování odstředivek bylo zapotřebí vysokých otáček, což Laval postupně zavedlo k turbínám. Roku 1883 zkonstruoval první rovnotlakou parní turbínu s jedním oběžným kolem složeným z mnoha lopatek umístěných po obvodu kola. Expanze páry, tj. přeměna tlakové energie v kinetickou, probíhala pouze v rozváděcím kole, kdežto na lopatkování se její tlak nemění, proto rovnotlaká (impulsní). Použití tzv. Lavalových dýz – konvergentně divergentních trysek u rozváděcího kola, umožnilo páře dosahovat nadzvukových rychlostí proudění. Rotory turbín pak dosahovaly až 26000 min^{-1} . Nemohly být však plně využívány, jelikož tehdejší ložiska a materiály nebyly stavěny pro provoz těžkého rotoru za tak vysokých otáček.

Turbína, kterou v r. 1884 sestavil Parsons, měla odlišné uspořádání a expanze páry probíhala v několika stupních turbíny. Po průchodu prvním stupněm – rozváděcím a oběžným kolem, následovaly další stupně, dokud pára nepředala podstatnou část své energie rotoru turbíny. Na oběžná kola působí síla vyvolaná jak změnou směru proudu, tak i expanzí páry v oběžných lopatkách, proto se tento typ se nazývá turbínou přetlakovou (reakční). Princip využití několika stupňů, z nichž v každém je možné zpracovat část tepelného spádu, se ukázal velmi progresivním a účinným. Umožňoval díky nižším otáčkám turbínu propojit s generátorem a zároveň dosáhnout výkonu několika MW v jednom soustrojí. Roku 1894, pro prezentaci vynálezu široké veřejnosti, vytvořil 100 stop dlouhou ocelovou loď poháněnou parní turbínou – Turbinii. Parsonsova cílového zákazníka loď nijak nenadchla. Příležitost však přišla o roky později, kdy se zúčastnil přehlídky plavidel ve Spithead. Loď dosahovala tehdy nevídaných rychlostí a Parsons získal zakázku pro Britské královské námořnictvo.



Obr. 3-6 Turbína Gustava Lavalů [1]

Pro vývoj parních zařízení u nás je stěžejní rok 1900, kdy se v Paříži konala světová výstava. Nešlo o nové vynálezy. Již v r. 1896 ve Velké Británii díky Parsonovi bylo do výroby 60 turbín. První brněnská strojírna byla na výstavě oceněna zlatou medailí za nový systém regulace parního stroje (Hugo Lentz). Brňané tedy nejeli na pařížskou výstavu nepřipravení, nýbrž dobře obeznámení s teorií parních strojů. V turbínách viděli perspektivní řešení pro výrobu elektrické energie, a proto na výstavě zahájili jednání s Ch. Parsonsem o zakoupení jeho licence. [1], [3], [4], [5]



Obr. 3-7 Rozdíl mezi rovnotlakou a přetlakovou turbínou [1]

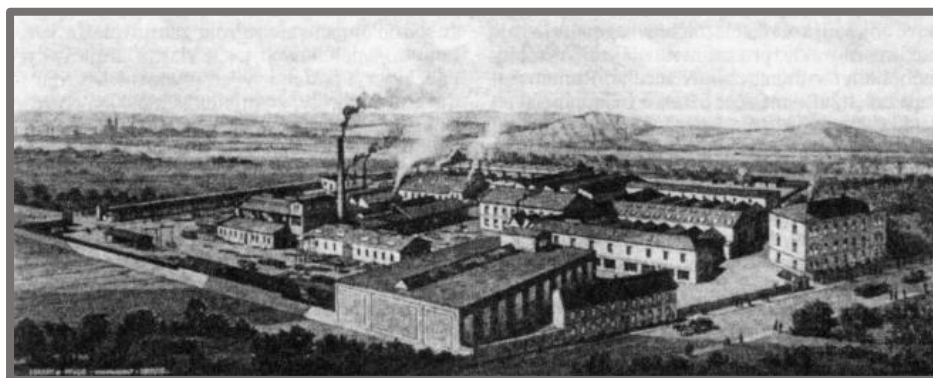
3.2 Strojírenské společnosti na našem území

3.2

3.2.1 První brněnská strojírna Brno

3.2.1

Roku 1814 ve Šlapanicích u Brna byla založena strojírna, ze které po domluvě Jana Reiffa, bratrů Augusta a Bedřicha Schöllových a Kristiana Memmerta vznikla První brněnská strojírna. Memert a Schöllovi později odstoupili. Společnost pod vedením Reiffa prošla bez velké újmy silnou hospodářskou krizí a dočkala se i rozšíření.



Obr. 3-8 První brněnská strojírna ve svých počátcích [27]

Jindřich Luz, zaměstnanec a nástupce Reiffa, měl velký zájem o parní stroje a výrazně se podílel na rozvoji závodu. Roku 1824 získal privilegium na jejich stavbu a téhož roku i představil svůj první stroj. Vzhledem k rostoucím požadavkům na výrobu zahájil Luz výstavbu nového závodu v Brně, kam v r. 1837 přemístil celou výrobu.

Toho času po připojení Bracegirdlovy strojírny byla založena První brněnská společnost Erste Brünnner Maschinenfabriks-Gesellschaft. Velký rozvoj parních strojů přišel po nástupu technického ředitele Gustava Haubera. Ten do parních strojů zavedl ventilové řízení a společnost získala vedoucí úlohu v jejich výrobě. Na rozmachu PBS se výrazně podílel uzavřením fúzí s některými z brněnských strojíren ředitel August Hněvkovský.

Roku 1903 byla v Brně zprovozněna první parní turbína systému P (Parsons). Toho roku si díky důrazu kladenému na kvalitu provedení získala na výstavě v Ústí nad Labem mnoho příznivců. Další vyrobené turbíny byly typu PBP (PBS Parsons). V r. 1912 postavila PBS kombinovanou turbínu se 3 rovnotlakými stupni ve vysokotlaké části a s přetlakovým lopatkováním v nízkotlaké části. V r. 1933 PBS dodala do elektrárny Zagreb kondenzační turbínu a v r. 1944 uvedla do provozu v elektrárně v dole Karolina svou dosud největší parní turbínu o výkonu 40 MW. Po čas druhé světové války dvě dílny sloužily pro výrobu leteckých pum a k jejímu konci Němci zničili téměř polovinu výrobních hal. Po válce byla zahájena obnova závodů, ovšem z konstrukce odešli zkušení němečtí konstruktéři a zbylá část, cirká pětina, byla složena z mladých českých hlav (Švanda, Nevole, Hep, Michele, ...). PBS se začala specializovat na výrobu energetických zařízení a až v r. 1952 dosáhla výroba turbín předválečného stavu. V následujících letech byla výroba turbín založena na dvoutělesových kondenzačních turbínách s výkonem do 25 MW a na turbíně o výkonu 50 MW, která tehdy patřila ke světové špičce. Po r. 1950 byla PBS monopolním výrobcem s úkolem pokrývat potřeby tuzemských výrobců a značnou část výrobků exportovat. Specialitou PBS byla konstrukce průmyslových parních turbín s regulovanými odběry a turbín k pohonu turbokompresorů konstruovaných „na míru“. V letech 1945 až 1992 bylo celkově vyrobeno 1176 turbín a výkonu 11740MW a koncem tohoto období došlo k výraznému poklesu poptávek (hlavně v zemích bývalé RVHP) a po analýze trhu vstoupila do celosvětového koncernu ABB. V r. 1996 restrukturalizace PBS a vytvoření dceřiných společností z vnitřních jednotek – PBS Třebíč, Brno, Velká Bíteš, Metal, Investorská. Poté během několika let byla majitelem podniku společnost ABB Alstom Power, pak jen Alstom Power a v současné době Siemens Industrial Turbomachinery s.r.o. Brno. [5], [6], [7]

3.2.2 Škoda v Plzni

PBS Brno nebyla jedinou společností na našem území zabývající se výrobou elektřiny pomocí parních turbín. Firma Škoda byla založena českým technikem a podnikatelem Emilem Škodou. Zlom v jeho kariéře přišel roku 1869. Tehdy jakožto vedoucí konstruktér ve strojárnách hraběte z Valdštejna tyto strojárny od něj odkoupil. Závody zmodernizoval, zavedl nové obory, rozvíjel technologie. Přikoupením několika dalších malých továren jeho podnik velmi rychle expandoval. Situace v tehdejší Evropě Škodovi napověděla vsadit na výrobu zbraní a mimo ně jeho firma produkovala v 80. letech 19. století mechanismy pro tuzemské cukrovary, sladovny, válcovny železa, hutě a doly. Koncem 19. století byla Škodou založena moderní ocelárna schopna tvořit odlitky o několika desítkách tun. Dále také zbrojní hala a továrna, která patřila mezi největší z evropských výrobců zbraní.

V roce 1904 byla ve Škodových závodech zkonstruována první parní turbína systému Rateau a po sedmi letech přišlo nahrazení těchto turbín vlastním designem ŠKODA. Koncem války došlo k poškození 70 procent plzeňského podniku. Po válce až do roku 1992 nastalo období setrvalého růstu výroby – jak v růstu firmy, tak v tvorbě vyšších výkonových modelů turbín, kterými jsou opatřeny i tuzemské jaderné elektrárny. Ani privatizace podniku neuškodila a v současnosti, jakožto Doosan Škoda Power, má zakázky po celém světě. [8], [9]

3.2.3 Další společnosti v ČR

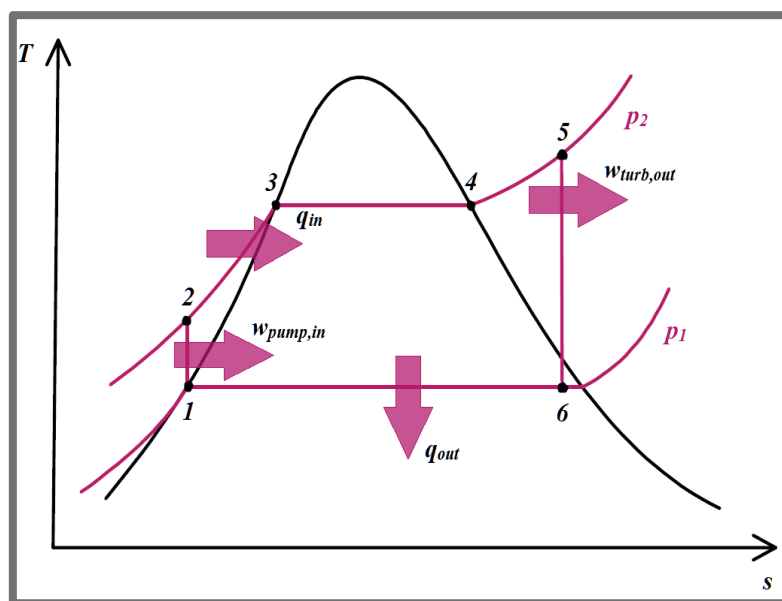
3.2.3

Další společností, která se zabývala výrobou turbín, byla například ČKD Praha. Mezi menší společnosti u nás patří například brněnský Ekol, který byl založen bývalým pracovníkem PBS. Dále na našem území působí společnost G-Team – odštěpný závod z velkobítešské Turbomachinery. [5], [6], [10]

3.3 Tepelný cyklus parní turbíny

3.3

Parostrojní zařízení slouží k přeměně tepelné energie v energii mechanickou. Nejrozšířenějším tepelným oběhem v oblasti energetiky je Rankine-Clausiusův parostrojní oběh.



Obr. 3-9 Rankine-Clausiusův cyklus v T-s diagramu [11]

Ve stavu 1 napájecí čerpadlo izoentropicky zvýší tlak vody z tlaku p_1 na p_2 a dopraví ji do parního kotle. Na dopravu vynaloží přitom čerpadlo práci $w_{pump,in}$. Voda dodávkou tepla q_{in} v parním kotli dosáhne teploty varu (2-3) a přemění se v sytou páru (3-4). Pára dále postupuje do přehřívače (4-5) a z něj do turbíny. V turbíně pára expanduje na kondenzační tlak p_1 a turbína koná mechanickou práci $w_{turb,out}$ (5-6). V ideálním případě je expanze izoentropická (na obrázku expanze probíhá až do

oblasti mokré páry). Vyexpandovaná pára z parní turbíny jde v případě kondenzačních turbín do kondenzátoru, kde odevzdává teplo q_{out} (6-1) a poté je voda odsávána čerpadlem zpět do parního kotle, čímž je oběh uzavřen.

Tepelná bilance se získá pomocí hodnot entalpií pro daný cyklus z tepelného diagramu. Pro jednoduchost je počítána pro tok páry o hmotnosti 1 kg. Práce cyklu je přibližně rovna práci turbíny, jelikož velikost práce spotřebované čerpadlem je zanedbatelná. Celkový výkon zařízení je přímo úměrný hmotnostnímu toku páry a entalpickému spádu. Pro daný průtok lze vyšší výkon zajistit zvýšením parametrů páry vstupující do turbíny, popř. snížením kondenzačního tlaku páry. Kapalná fáze má však neblahý vliv na lopatky turbíny. To bývá řešeno tzv. reohřevem páry. [11], [12]

3.4 Rozdělení parních turbín

Turbíny našly své uplatnění v mnoha odvětvích. Slouží zejména pro výrobu elektrické energie, pro pohon lodí nebo turbodmychadel a turbokompresorů. Širokou škálu turbín lze rozdělit podle:

- a) principu přeměny energie
 - Rovnotlakové turbíny – před a za oběžným kolem existuje rovnost tlaků a expanze páry probíhá v rozváděcím zařízení, nejčastěji v Lavalových dýzách.
 - Přetlakové turbíny – před oběžnými lopatkami je větší tlak než za nimi a expanze páry probíhá v rozváděcích i oběžných lopatkách
- b) počtu stupňů
 - Jednostupňové – používá se rovnotlaký stupeň neboli Curtisův stupeň, tzv. C-kolo, které je vhodnější pro větší tepelné spády
 - Mnohostupňové – počet stupňů turbíny se volí dle zpracovávaného tepelného spádu v turbíně, který je závislý na parametrech páry
- c) směru toku páry
 - S axiálním tokem páry – jedná se o nejčastěji konstruovanou variantu
 - Radiální neprotiběžná/protiběžná – u tohoto typu konstrukce generují jak rozváděcí tak oběžné lopatky energii, tzn. je nutno použít dvou generátorů, což je nevýhodou, typickým zástupcem radiálně protiběžné je konstrukce Ljungströme
- d) parametrů páry na vstupu do turbíny
 - Se vstupní přehřátou párou vyšších parametrů – běžné provedení parní turbíny u tepelných elektráren
 - Se vstupní přehřátou párou nižších parametrů – u elektráren s varnými reaktory
 - Se vstupní sytou párou – u elektráren s tlakovodními reaktory
- e) tlaku za posledním stupněm
 - Kondenzační – při výstupu z turbíny je pára po expanzi vedena do kondenzátoru

- Protitlakové – tlak na výstupu je vyšší než atmosférický, je dán potřebami odběratele páry a v závislosti na typu využití přetlaku (průmyslové účely, vytápění) se jeho velikost mění a s ním i výkon turbíny
- S jedním regulovaným odběrem páry – tento typ turbíny splňuje dva požadavky – stálý výkon a konstantní tlak odběrové páry [13]

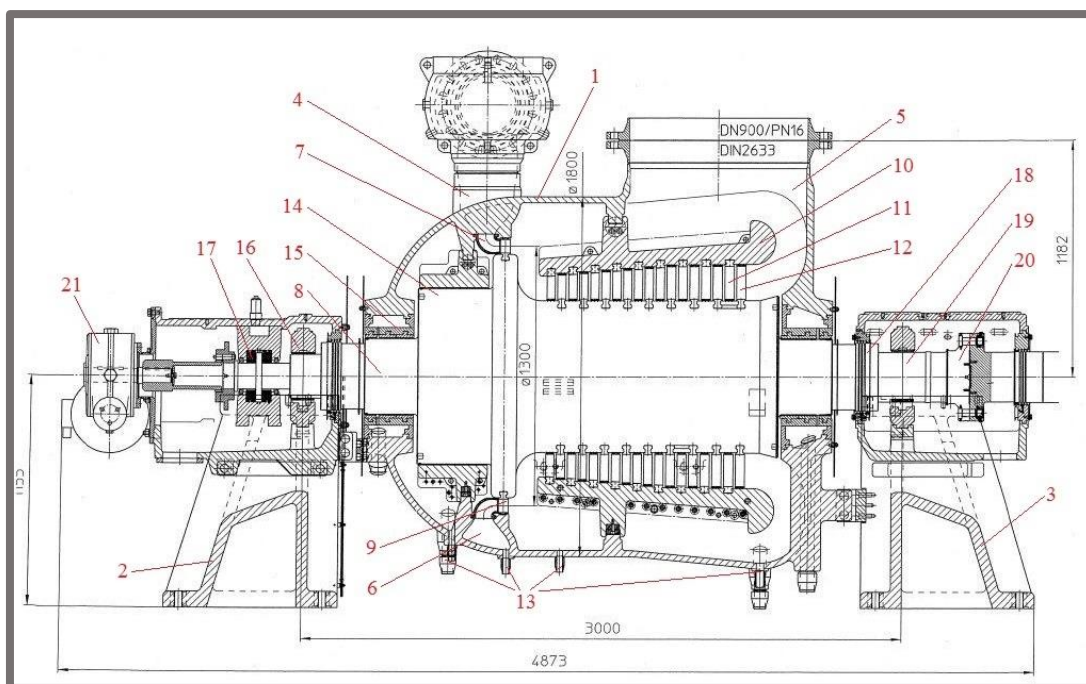
3.5 Konstrukce parních turbín

3.5

3.5.1 Typická konstrukce

3.5.1

Pro názornost popisu typické konstrukce parní turbíny byl jako příklad použit řez tělesem přetlakové parní turbíny R22 – 1,4/0,3 společnosti Ekol. Turbína dosahuje výkonu 22 MW při 3000 min^{-1} a je poháněna párou o vstupním tlaku 1,4 MPa a teplotě



Obr. 3-10 Přetlaková turbína společnosti Ekol [15]

(1 – vnější těleso turbíny, 2 – přední ložiskový stojan, 3 – zadní ložiskový stojan, 4 – vstup páry, 5 – výstup páry, 6 – okružní kanál, 7 – rozváděcí zařízení, 8 – rotor turbíny, 9 – první rozváděcí kolo, 10 – vnitřní těleso turbíny (nosič rozváděcích lopatek), 11 – rozváděcí lopatky, 12 – oběžné kolo, 13 – odběry páry, 14 – rotační část labyrintové ucpávky, 15 – labyrintová ucpávka, 16 – radiální ložisko, 17 – axiální ložisko, 18 – ucpávky, 19 – čep radiálního ložiska, 20 – spojka, 21 – natáčecí zařízení)

240 °C při hmotnostním toku 300 t/h. Statická část turbíny – vnitřní a vnější těleso, jsou horizontálně rozděleny v rovině osy turbíny a jejich spojení je kov na kov. Rotor turbíny tvoří hřídel vyrobený z jednoho kusu materiálu, je celokovaný. V přední části hřídele je vytvarována plocha pro připojení nástavce čidel otáček a posuvu vlivem

tepelné dilatace. Součástí rotoru je v tomto případě 9 za sebou řazených stupňů, přičemž spoj všech oběžných kol s hřídelem turbíny je realizován pomocí úchytu ve tvaru „T“. Rozváděcí kola jsou nepohyblivá. První rozváděcí (dýzové) kolo je součástí rotoru a další rozváděcí lopatky jsou připevněny pomocí nosiče rozváděcích lopatek k vnitřnímu tělesu turbíny.

Pára se do turbíny přivádí vstupním hrdlem, které bývá opatřeno regulačním a rychlozávěrným ventilem a pokračuje okružním kanálem do prvního rozváděcího kola. Výstupní hrdlo je svařeno z ocelových plechů a je spojeno s kondenzátorem. Na vnějším tělese turbíny je několik otvorů. Ty slouží pro kontrolu parametrů páry v určitých stupních nebo k odběru páry, jež se dále užívá pro regeneraci napájecí vody, dodávané do parního kotle a také pro odvod zkondenzované části páry – pro odvodnění pracovního prostoru.

Během provozu parní turbíny je třeba dbát na dodržení vstupních parametrů páry. Toho se docílí otevíráním a zavíráním regulačního ventilu.

V místě, kde hřídel prochází vnějším tělesem turbíny, jsou umístěny tzv. labyrintové ucpávky. Přední ucpávka omezuje únik páry z tělesa turbíny do strojovny. Zadní ucpávka zabráňuje nasávání atmosférického vzduchu do výstupního hrdla a kondenzátoru, což by vedlo ke zvýšení tlaku a snížení účinnosti turbíny. Aby se vniknutí páry předešlo, přivádí se k zadní ucpávce pára o tlaku vyšším než atmosférickým.

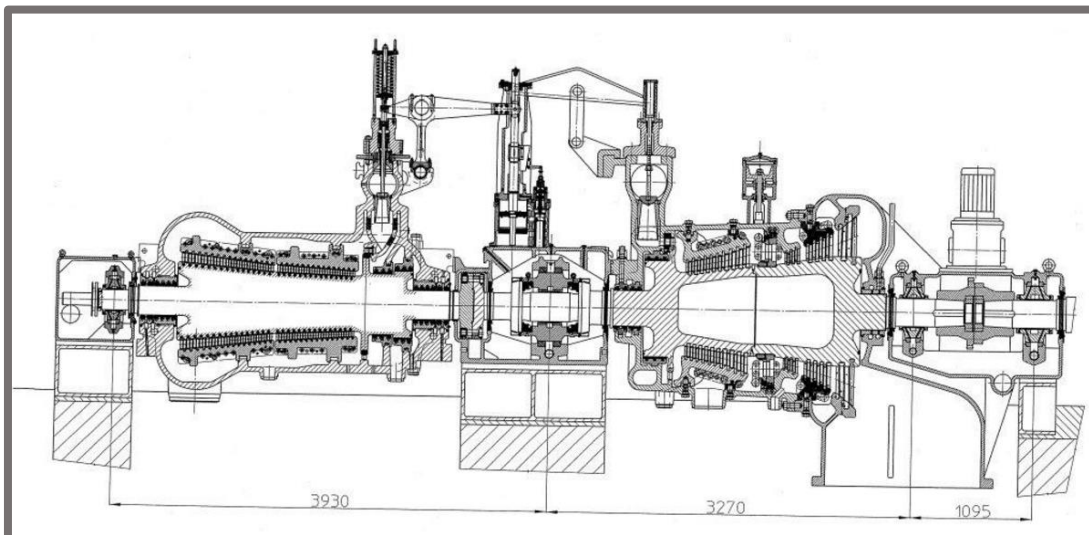
V přední části rotoru je natáčecí zařízení (elektromotor a šnekový převod) pro rozběh turbíny z nulové úhlové rychlosti na cca 72 min^{-1} , při kterých se do pracovního prostoru přivádí regulované množství páry, které zajistí rovnoměrný prohřev turbíny. Teprve po dosažení požadované provozní teploty se postupně zvětšuje množství přiváděné páry a turbína se dostane na své nominální otáčky. Při najíždění turbíny na nominální otáčky je nutno rychle překonat tzv. kritické otáčky stroje, mohlo by totiž dojít k rozvibrování celého zařízení. Jakmile turbína dosáhne otáček vyšších, než jsou otáčky natáčedla, je natáčedlo automaticky odpojeno. V mnoha případech rotor turbíny bývá pomocí ozubení spojen s olejovým čerpadlem. Zadní konec rotoru turbíny je spojený spojkou s hřídelí generátoru.

Turbína je uložena v předním a zadním ložiskovém stojanu. Součástí obou stojanů jsou skříně, v nichž jsou uložena kluzná ložiska a kde současně dochází i k jejich mazání. Při provozu turbíny vzniká v ložiskách množství tepla, které je nutno odvádět. To se děje prostřednictvím cirkulačního mazacího systému. Olej snižuje tření mezi pánvemi ložiska a zároveň je chladí. Ohřátý olej poté putuje z ložisek do nádrže, kde se zchladí a znovu používá. [14], [podle ústního sdělení Zdeňka Petržely (zaměstnanec EDU, Rouchovany 210, Rouchovany) dne 11. února 2017.]

3.5.2 Příklady konstrukčních provedení parních turbín

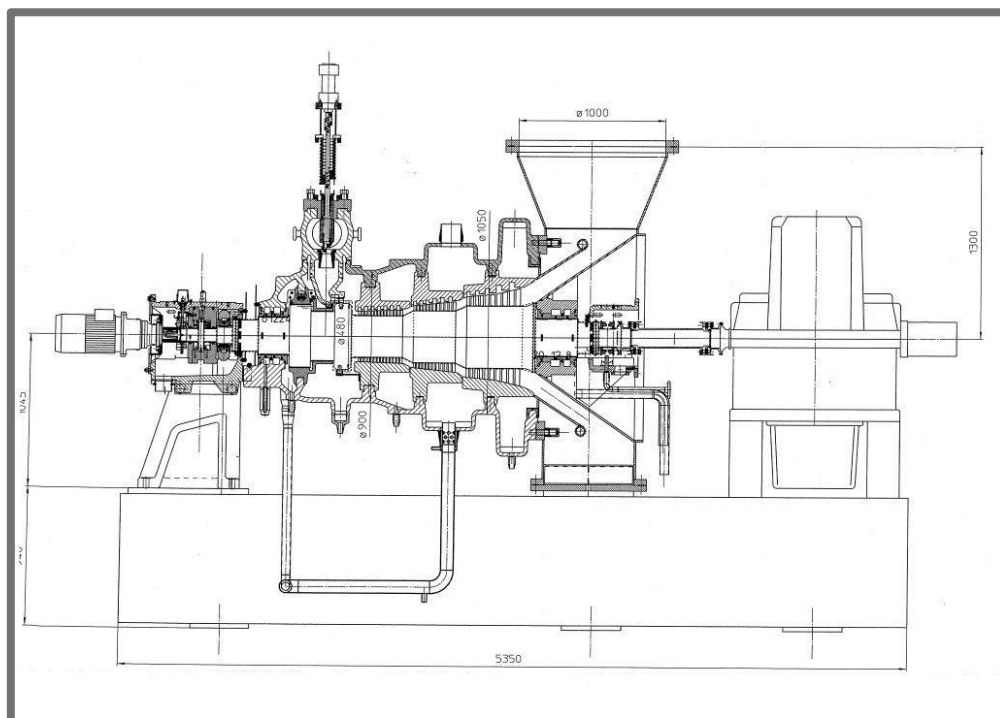
3.5.2

Jako příklad je uvedena parní turbína se dvěma regulovanými odběry o výkonu 33 MW se vstupním tlakem 9 MPa a teplotou 540 °C, určená pro výrobu elektřiny a dodávku páry pro ropnou rafinerii



Obr. 3-11 Parní turbína se dvěma regulovanými odběry [15]

a parní přetlaková turbína s teplotěnským odběrem o výkonu 10,8 MW, vstupním tlakem 5,3 MPa a teplotou 480 °C. [15]



Obr. 3-12 Parní turbína s teplotěnským odběrem [15]

3.6 Olejový systém parních turbín

Olejový systém se skládá z nízkotlaké mazací a vysokotlaké regulační části. Funkcí olejového systému je mazání ložisek, převodů a regulační soustavy, minimalizace opotřebení, zastává funkci chlazení, eliminuje vodu a nečistoty ze součástí ložiska a rovněž předává regulační impulsy. Ochrana těžkých rotačních strojů před poškozením spočívá především v účinném provozu mazacího systému a ložisek a dohledu na jejich stav. Olejové hospodářství se skládá z hlavního olejového čerpadla (HOČ), najížděcího olejového čerpadla (NOČ), jednoho či dvou nouzových čerpadel, pojistného ventilu, regulátoru tlaku, chladiče oleje s třícestnými armaturami, filtru, clon, odpadního potrubí a hlavní olejové nádrže (HON). Olejový oběh bývá navržen vždy tak, aby ztráty oleje byly minimální. Dle uspořádání se olejové hospodářství dělí na centralizované a decentralizované. V současné době, ve snaze ušetřit co nejvíce prostoru ve výrobních halách, se setkáváme spíše s první variantou, kdy olejové nádrže bývají součástí základového rámu a veškeré komponenty systému jsou pohromadě. [podle ústního sdělení Zdeňka Petržely (zaměstnanec EDU, Rouchovany 210, Rouchovany) dne 18. února 2017.]

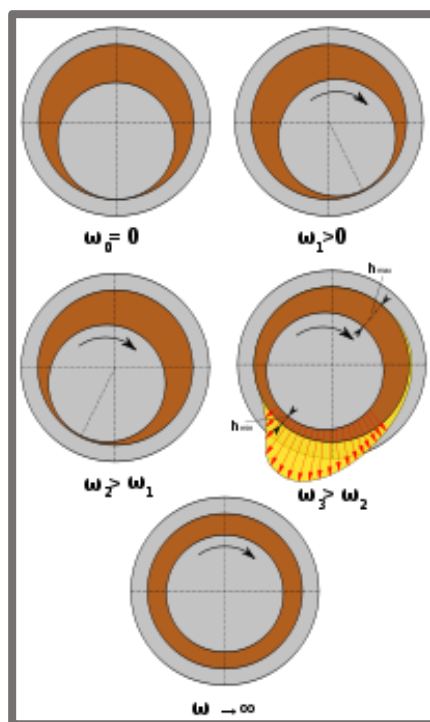
Tvorba olejového filmu

V případě kluzných ložisek je cílem oddělit dva vůči sobě se pohybující elementy ložiska tenkým filmem oleje, popř. olejovým klínem. Pro vytvoření a udržení tohoto olejového filmu musí být splněny následující podmínky:

- třecí plochy musí být vůči sobě v pohybu, aby došlo k vytvoření dostatečného tlaku pro udržení olejového filmu mezi nimi
- musí být dostatečný přívod oleje mezi třecí plochy, tzn. dostatečný tlak oleje v ložisku
- povrchy ložiska nesmí být rovnoběžné, ale musí spolu svírat ostrý úhel, což umožní oleji vytvarovat se do úzkého klínu zužujícího se ve směru otáčení [16]

Dynamika olejového filmu

Co se týče kluzných ložisek, platí, že rotující čep je nadzvedáván v ložiskovém pouzdru hydrodynamickými silami. Tyto síly snižují odpor vůči tření ložiska. V první fázi, kdy je rotor v klidu, mezi čepem ložiska a pouzdrem dochází ke kontaktu kov na kov, jelikož hřídel svou vahou má tendenci vytlačovat olej z ložiska pryč. Před tím než se rotor začne otáčet, je nadzvednut, aby bylo zabráněno vzájemnému tření nemazaných kovových ploch. K tomu se využívají zvedací olejová čerpadla, která přivádí vysokotlaký olej otvorem v dolní pánvi. Mazací olej je do ložiska přiváděn dvěma otvory v dělicí rovině ložiska. Při prvních otáčkách čep nejdříve vyšplhá po stěně pouzdra, poté dojde ke skluzu mezi třecími plochami. Se zvyšujícími otáčkami se zvyšuje i množství dodávaného oleje, což způsobí vystředění hřídele v pouzdře a vytvoření olejového klínu. Povrch kompozice ložiska má citronový tvar, který při vyšších otáčkách umožní vytvoření dvou olejových klínů nad i pod hřídelem. Nutno podotknout, že právě díky viskózním silám mezi olejem a hřídelí dochází k tvorbě tolik potřebného olejového klínu. [16], [17]

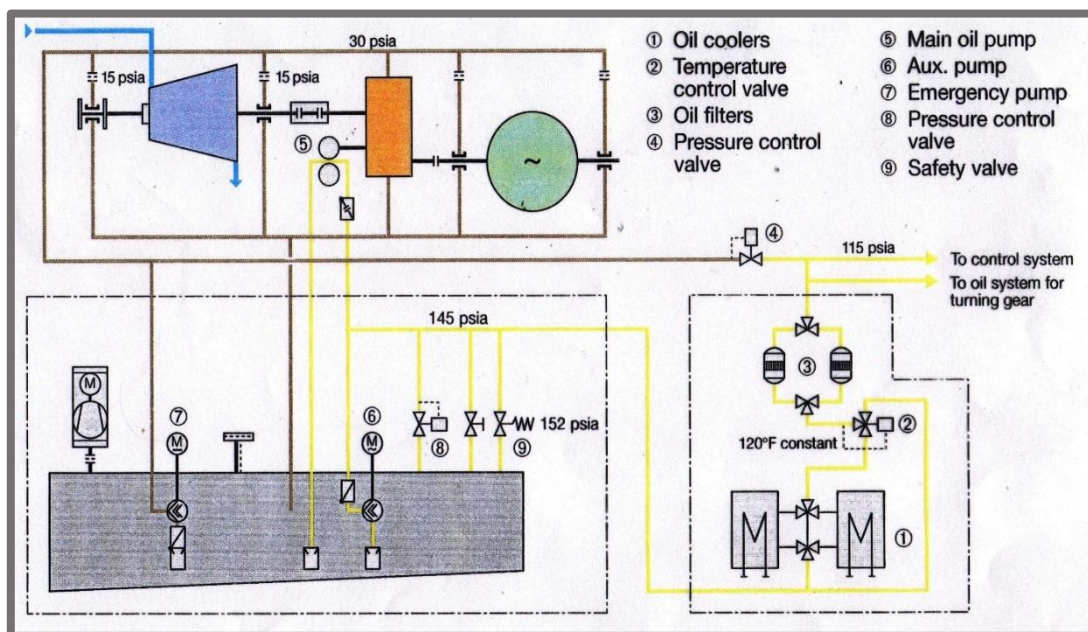


Obr. 3-13 Tvorba olejového klínu v závislosti na úhlové rychlosti [16]

3.6.1 Popis funkce systému

3.6.1

K popisu funkce systému je pro názornost využito obrázku.



Obr. 3-14 Schéma olejového hospodářství [28]

Zásobníkem oleje pro turbosoustrojí je HON. Hladina v HON je kontrolována stavoznakem a je-li dosaženo krajních hodnot, pak je signalizována porucha. HOČ 5, NOČ 6 i nouzové olejové čerpadlo 7, nasávají olej z HON. Část z výtlaku čerpadel putuje přímo k regulátoru teploty mazacího oleje 2 a část oleje projde před tím chladičem 1. Z ventilu 2, kde dochází k mísení oleje na požadovanou teplotu, olej putuje k rozdělovači přes duplexní olejový filtr 3. Na filtru dojde k drobné tlakové ztrátě. V rozdělovači je umístěn regulátor tlaku 4. Z rozdělovače část oleje míří přímo k hydraulické části regulace turbosoustrojí a do olejového hospodářství turboalternátoru. Část oleje také slouží pro zahlcování olejových ucpávek generátoru, jelikož atmosféra generátoru obsahuje vodík (stopově i CO₂), který generátor ochlazuje. Druhá část, která projde clonou, popř. škrtícím ventilem regulátoru tlaku, je vedena ke konkrétní mazaným místům. Před vstoupením oleje do ložisek, prochází ještě dalšími clonami a magnetickými filtry, kde se upravuje jeho tlak a čistota. Systém clon s regulátorem tlaku musí být navržený tak, aby ke každému ložisku byl dopraven olej o přesném tlaku. Z ložisek olej putuje vždy jen zpola zaplněným potrubím (kvůli možnosti odpěňování) a samospádem zpět do olejové nádrže. Za ložisky se obvykle nacházejí průzory ke kontrole průtoku. Pokud je tlak za HOČ 5 příliš vysoký, olej proudí zpět do nádrže přes tlakový ventil 8. Pokud by došlo k selhání funkce tlakového ventilu, pak je na potrubí umístěn navíc bezpečnostní tlakový ventil 9, který umožní oleji při dosažení kritického tlaku proudit zpět do HON. Činnost pomocných čerpadel je ovlivněna manostatem, který dle tlaku oleje v potrubí zajišťuje jejich sepnutí/vypnutí. [17], [podle ústního sdělení Zdeňka Petržely (zaměstnanec EDU, Rouchovany 210, Rouchovany) dne 25. února 2017.]

3.6.2 Parametry olejových systémů

Návrh olejového systému musí splňovat následující kritéria:

- musí být možnost vypustit veškerý olej z olejové nádrže
- musí být zabezpečen proti úniku oleje, případně okamžitě identifikován zdroj úniku
- olejový systém musí být dobře přístupný obsluze
- přípustná teplota nádrže činí 60 °C, výjimečně 65 °C

V okolí turbogenerátoru je olejový systém dispozičně řešen s chladicím systémem zařízení, vyvedením elektrického výkonu produkovaného generátorem, regulačním hydraulickým systémem a skříněmi měření a regulace a systémem pro odvod kondenzátu z turbíny.

Teplota oleje je určena:

- minimální provozní teplotou oleje pro fungování zařízení (předovky, generátoru)
- požadovanou teplotou oleje po průchodu chladičem
- použitým olejem (typ ISO VG46) a jeho minimální provozní teplotou

Tlak oleje je dán:

- tlakem oleje pro provoz ložisek
- způsobem regulace, tj. tlakem regulačního oleje
- ztrátami v potrubí, filtru, chladiči, regulačních armaturách
- tlakem na pojistném ventilu a závěrným tlakem čerpadla

Rozměry a materiál potrubí:

- rozměry potrubí jsou voleny s ohledem na rychlost, množství a tlak oleje v potrubí
- materiál potrubí je volen v závislosti na poloze vůči filtru – před filtrem bývá použit černý materiál (ocel s příměsí uhlíku do 2 %) a potrubí za filtrem včetně armatur od nouzového čerpadla, se obvykle vyrábí z korozi-vzdorných ocelí [podle ústního sdělení Ing. Vladimíra Palíka (zaměstnanec Ekol, spol. s r. o., Křenová 65, Brno) dne 23. února 2017.]

3.6.3 Návrh hlavní olejové nádrže

3.6.3

Množství oleje, podle kterého je navržena olejová nádrž, je dáno:

- jmenovitou spotřebou mazacích míst v ústrojí a rezervou, jelikož spotřeba oleje za jednotku času se při provozních podmínkách může lišit
- ztrátovým výkonem
- množstvím oleje použitého pro regulaci
- provozní teplotou oleje
- výškou hladiny v olejové nádrži, která je dána výškovým umístěním odpadního potrubí, čerpadel, množstvím oleje v potrubí a tepelnou roztažností oleje

Co se týče objemu, nádrž musí být schopna pojmout veškerý olej z olejového hospodářství během odstávky a pak zvláště i objem spádového zásobníku, napojeného přímo na ložiska stroje, pokud dojde k selhání všech čerpadel. Velikost nádrže se odvíjí také podle počtu obměňování náplně v nádrži za hodinu – dle oběhového čísla oleje.

Vztah pro výpočet oběhového čísla

$$i = \frac{V}{V_n}$$

kde:

i	h^{-1}	je oběhové číslo
V	m^3h^{-1}	- objemový průtok
V_n	m^3	- objem olejové nádrže

Vztah pro návrh celkového objemu nádrže

$$V_n = \frac{1,25 \cdot V}{i}$$

Oběhové číslo se pohybuje maximálně mezi 10 až 12 průtoky za hodinu. Na základě volby oběhového čísla lze s ucházející přesností dopočítat celkový objem nádrže. [podle ústního sdělení Ing. Vladimíra Palíka (zaměstnanec Ekol, spol. s r. o., Křenová 65, Brno) dne 23. února 2017.], [19]

3.6.4 Zařízení systému

Hlavní olejové čerpadlo (HOČ)

Během provozu turbosoustrojí je olej dopravován do jednotlivých okruhů olejového systému pomocí HOČ. Je možné se setkat s dispozičním uspořádáním:

- čerpadlo na převodovce
- čerpadlo na hřídeli
- čerpadlo na nádrži

Při použití čerpadla na převodovce musí být dodržena maximální výška mezi olejovou nádrží a místem, kde vstupuje olej do ložisek. V praxi se osvědčilo umístění olejové nádrže v hloubce 2,5 m od vstupu oleje do ložisek. Pokud je čerpadlo umístěno na nádrži, umístění nádrže není nijak předurčeno. Pouze je potřeba zohlednit ztrátu tlaku při překonávání výškového rozdílu a dle toho volit výkon čerpadel.

HOČ může být odstředivé nebo objemové – zubové, vřetenové. Objemové je poháněno šnekovým nebo čelním soukolím od rotoru turbíny nebo elektromotorem. Je možné se setkat také s rotačními šroubovými čerpadly složenými běžně ze tří společně zabírajících šroubů. Prostřední z nich je obvykle poháněn vlastním elektromotorem a oba krajní slouží jako ucpávky. Výhodou tohoto systému je spolehlivost, vysoká účinnost, jednoduchost a samonasávací schopnost. Odstředivé HOČ má oběžné kolo s radiálními kanály, umístěné přímo na hřídeli. Odstředivá čerpadla nepracují spolehlivě při velkých sacích výškách, v tom případě doprava oleje z nádrže bývá podpořena tzv. podávacím injektorem nebo odstředivým čerpadlem, ponořeným v nádrži. Injektor je proudové čerpadlo hnané částí výtlaku HOČ nebo NOČ. Zajišťuje dopravu čerpaného oleje do sání hlavního olejového čerpadla většinou s mírným přetlakem, pro zajištění spolehlivého chodu.

Olejové čerpadlo neumožňuje nastavit požadovaný pracovní bod, jelikož provozní otáčky čerpadla jsou stálé. Vzniká tedy přetlak v potrubí. Toto se řeší přepouštěcím ventilem v rozdělovači, kterým olej projde, než se dostane do ložisek. Ventil zajistí stálý tlak oleje a odvod přebytečného oleje zpět do nádrže. [podle ústního sdělení Zdeňka Petržely (zaměstnanec EDU, Rouchovany 210, Rouchovany) dne 11. března 2017.], [podle ústního sdělení Ing. Zdeňka Bednáře (zaměstnanec Ekol, spol. s r. o., Křenová 65, Brno) dne 9. března 2017.], [18]

Najížděcí olejové čerpadlo (NOČ)

NOČ zprostředkovává rozvod oleje při najíždění nebo odstavování turbíny a bývá na společném výtlaku s HOČ. Při rozběhu turbíny nemá HOČ otáčky na to, aby dodávalo dostatečné množství oleje pro provoz ložisek. Proto je spuštěno NOČ. Po dosažení určitých otáček turbosoustrojí je výkon tohoto čerpadla stažen na polovinu a ve chvíli kdy je dosaženo provozních otáček, je NOČ odstaveno.

Pomocné olejové čerpadlo může být rovněž odstředivé nebo objemové. Je umístěné v olejové nádrži, poháněné vlastním elektromotorem a dimenzuje se na spotřebu oleje o 20 % vyšší, než je provozní. Při případném poklesu tlaku, může toto čerpadlo simultánně pracovat s HOČ. [podle ústního sdělení Zdeňka Petržely (zaměstnanec EDU, Rouchovany 210, Rouchovany) dne 11. března 2017.], [18],

Nouzové olejové čerpadlo

Pro bezpečné odstavení turbosoustrojí při náhlém výpadku energie bývá na olejové nádrži umístěno jedno nebo dvě nouzová olejová čerpadla, která jsou poháněna ze samostatného zdroje. Zdroje bývají dvojího typu – na stejnosměrný nebo střídavý proud. Zdroji stejnosměrného proudu jsou baterie a střídavého proudu jsou např. dieselgenerátory. Nouzová olejová čerpadla bývají volena tak, aby dodávala olej alespoň o šedesátiprocentním tlaku než je nominální tlak oleje. [podle ústního sdělení Zdeňka Petržely (zaměstnanec EDU, Rouchovany 210, Rouchovany) dne 11. března 2017], [podle ústního sdělení Ing. Zdeňka Bednáře (zaměstnanec Ekol, spol. s r. o., Křenová 65, Brno) dne 9. března 2017.]

Čerpadla zvedacího oleje

Před najížděním i odstavováním je do ložisek pomocí čerpadel zvedacího oleje dopravován vysokotlaký olej. Otáčky turbosoustrojí nejsou v tu chvíli dostatečně vysoké na to, aby byl vytvořen olejový film mezi třecími plochami ložisek. Tím by mohlo dojít k poškození kompozice a v extrémním případě by natáčecí zařízení nemuselo být schopno rotor roztočit. [podle ústního sdělení Zdeňka Petržely (zaměstnanec EDU, Rouchovany 210, Rouchovany) dne 11. března 2017.]

Sací koš

Sací koš slouží k zachycení hrubých nečistot v oleji před nasátím do čerpadla a tím chrání čerpadlo před poškozením. Umístění sacího koše bývá realizováno alespoň 100 mm nade dnem olejové nádrže, aby bylo zabráněno případnému nasávání kalu v nádrži. Současně sací koš nesmí být umístěn příliš vysoko, jelikož by mohlo dojít k přísávání vzduchu. [podle ústního sdělení Ing. Zdeňka Bednáře (zaměstnanec Ekol, spol. s r. o., Křenová 65, Brno) dne 9. března 2017.]

Regulátor tlaku

Ve stavu kdy pracuje současně NOČ a HOČ by mohlo docházet k nadměrnému zahlcování ložisek olejem. Z toho důvodu prochází olej před vstupem do ložisek přes regulátor tlaku, který zajistí správné parametry oleje. Přebytečné množství oleje je odvedeno zpět do nádrže. Pokud by na regulátoru došlo k selhání, olej má možnost proudit zpět do nádrže přes pojistný ventil. [podle ústního sdělení Zdeňka Petržely (zaměstnanec EDU, Rouchovany 210, Rouchovany) dne 11. března 2017]

Chladiče oleje

Protože olej průchodem oběhem pojme teplo vytvářené třením mazaných částí, je toto teplo nutno odvádět chladícím médiem – nejčastěji vodou. Od chladiče je požadováno udržení stálé teploty oleje pro ložiska. Výkon chladiče, tj. výstupní teplotu oleje, lze ovlivňovat množstvím chladicí látky, která projde chladičem za jednotku času. Volba typu chladiče je závislá na provozních podmínkách i na čistotě vody. Jelikož voda tvoří více usazenin než olej, bývá vedena uvnitř trubek. Je podmínkou, aby v chladiči nedošlo k průniku vody do oleje. To by mohlo působit škodu na ložiskách. Proto je tlak ve vodním potrubí nižší než v okolním proudícím oleji a případná netěsnost se zjistí z olejových stop ve vodě.

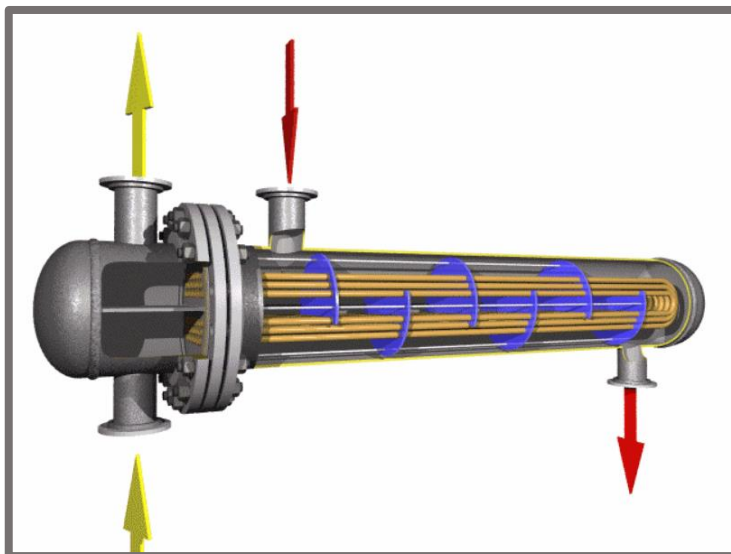
Při volbě materiálu chladičů nepřichází v úvahu měď, zinek nebo olovo, protože přispívají ke stárnutí oleje. Pláště chladičů bývají vyrobeny z ocelového plechu nebo litiny, vodní komory z litiny a trubky ocelové nebo lépe mosazné – zvýšení trvanlivosti oleje. Pro těsnění se používá často klingeritu a buny, tedy materiálu nerozpustného v oleji. Chladiče bývají obvykle zhotoveny ze dvou i tří těles v paralelním zapojení, tj. s možností přepínání průtoku bez nutnosti jeho přerušení. Tím pádem porucha tělesa chladiče nebo jeho čištění nemá žádný vliv na provoz turbíny. Čistící látky musí být pečlivě vypláchnuty, aby nebyly ovlivněny vlastnosti oleje. Nesmí být použito ani žádné čisticí bavlny, která by zanecháním vláken mohla zapříčinit ucpání přívodu oleje k ložiskům.

Obvyklou potíží v provozu je stav, kdy je výměník součástí vibrující nebo dilatující konstrukce. S ohledem na to se provádí uložení výměníků (pryži vyztužené objímky, silentbloky) a jejich připojení k zařízení (hadice, kompenzátory).

V praxi se používají chladiče trubkové a deskové:

Trubkový výměník:

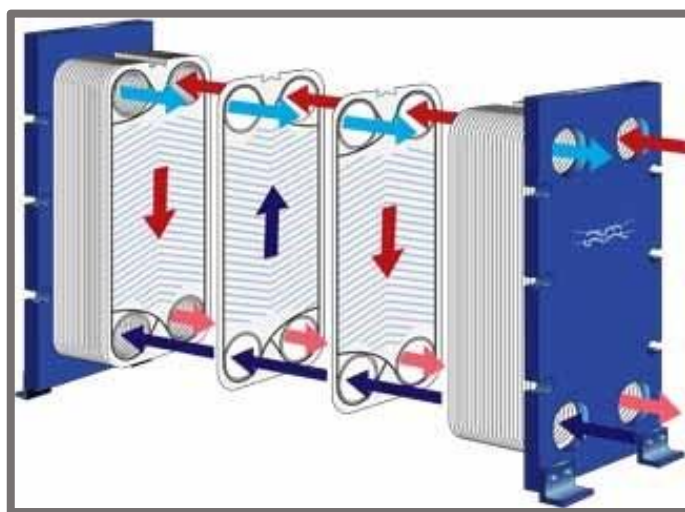
- nachází uplatnění v případě, kdy na chlazené straně je médium o vyšší viskozitě či vyšším průtoku, než na chladicí straně
- při užití demontovatelné konstrukce s přímými trubkami je výhodou poměrně snadné mechanické čištění
- nevýhodou je vyšší náchylnost ke korozi oproti deskovému výměníku (korozi lze zpomalit aplikací hořčkových elektrod, tzv. katodovou ochranou)



Obr. 3-15 Trubkový výměník [29]

Deskový výměník rozebíratelný:

- oproti trubkovému má kompaktnější rozměry, nižší pořizovací cenu, vyšší chemickou odolnost použitím kombinace nerezů a pryže
- výměník je možné zkonstruovat tak, aby dobře vyhovoval zadaným parametrům a nebyl zbytečně nadhodnocený (možnosti volby počtu desek a tvaru ražení kanálů)
- i při poměrně nízkých průtocích lze dosáhnout turbulentního proudění, což je příznivé pro tepelnou výměnu
- po demontáži lze provádět mechanické čištění (čištění je časově náročné)
- chemické čištění – odstranění vodního kamene a nánosů, lze zajistit i bez jakékoli demontáže instalováním uzavíracích ventilů na vstup, výstup a přidáním T-ventilu



Obr. 3-16 Rozebíratelný deskový výměník [30]

Deskový výměník letovaný:

- rovněž nabízí výhody skládaného deskového výměníku, jelikož tento typ chladiče je dostupný v celé škále velikostí
- mechanické čištění lze provádět a v případě chemického čištění je nutno zvolit chemikálii respektující pájku
- má vyšší náchylnost na cyklické teplotní a tahové namáhání, které způsobuje únavu letovaných spojů [18], [podle ústního sdělení Ing. Vladimíra Palíka (zaměstnanec Ekol, spol. s r. o., Křenová 65, Brno) dne 14. března 2017.]



Obr. 3-17 Letovaný výměník [31]

Regulátor teploty mazacího oleje

Regulátor se používá pro zajištění správné teploty oleje vstupujícího do ložisek. Tvoří ho trojcestný ventil, který mísí olej přicházející s z HON s olejem z chladičů. Klíčovou součástí je regulační element pracující na principu parafinového termostatu. Se zvyšující teplotou roste objem parafinové náplně v uzavřené tlakové nádobce umístěné uvnitř tělesa regulátoru. Teplotní roztažnost náplně v konečné fázi způsobí posun šoupátka a zvýšení přítoku studeného oleje. [podle ústního sdělení Zdeňka Petržely (zaměstnanec EDU, Rouchovany 210, Rouchovany) dne 11. března 2017.]

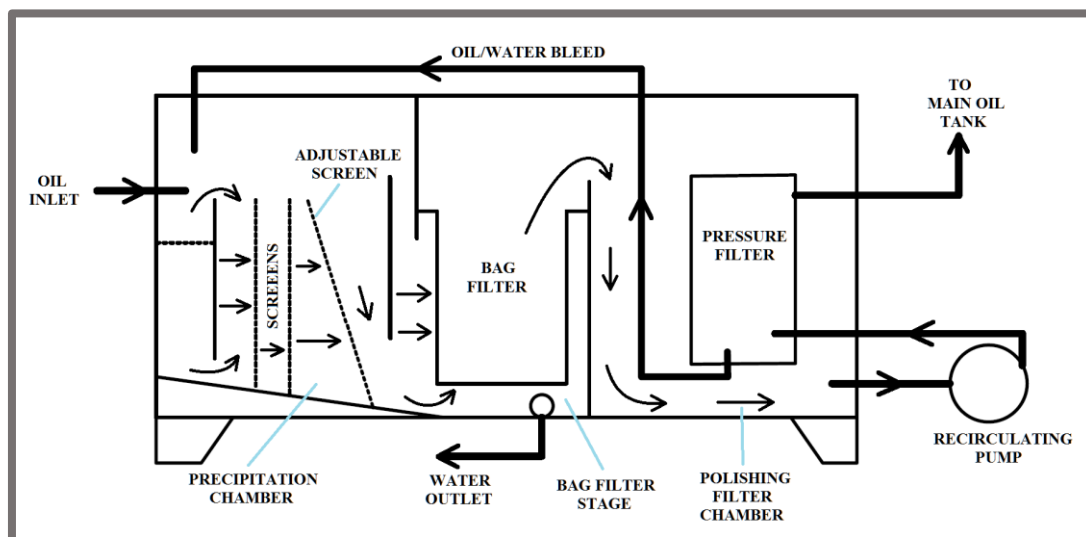
Filtrační zařízení

Tyto prvky slouží k odlučování cizorodých částí z oleje před vstupem do ložisek, aby nedošlo k jejich mechanickému poškození či škodě na samotných čerpadlech. Pro filtraci mazacího oleje se používá duplexních olejových filtrů s výměnnými vložkami. Mimo filtry se používají i hrubá síta v nádrži k oddělení větších nečistot.

Duplexní olejový filtr se skládá z filtračních těles a dvojstupňového přepínacího ventilu, který podobně jako duplexní chladič dovoluje odstavení jedné komory a současně uvádí do provozu druhou. Průchodem oleje jemným sítem (řádově desítky mikronů) dochází v oleji k tlakové ztrátě. Zanášení filtru způsobuje vyšší tlakovou diferenci před a za sítem, což bývá signalizováno v indikačním okénku. Tehdy je třeba

provést výměnu vložky, jinak by došlo k jejímu protržení. Filtry bývají též vybaveny shora drenáží pro odvodu a zdola k odpuštění kalu.

Usazovače jsou sedimentační nádrže. Olej k čištění je brán z HON a do této nádrže je většinou zaveden tak, aby stékal po rovném plechu pod úroveň hladiny v nádrži, kvůli zamezení pění. Usazovací proces bývá nejprve zrychlen ohřevem oleje na 80 až 90 °C, pak se přívod tepla vypne, aby nezpůsobil tepelné proudění. Příklad zařízení níže.



Obr. 3-18 Schéma sedimentační nádrže [17]

Zpočátku olej prochází přes sérii dělicích stěn. Voda se na těchto stěnách shlukuje ve vodní kapky, které po stěně stékají dolů a jsou odváděny do odpadu. Olej dále prochází přes polyolefinové fólie (PE, PP), ve kterých se zachycují částice nečistot. V poslední fázi olej proudí přes jemný tlakový filtr zpět do HON. Jelikož usazené kaly na dně nádrže tvoří velmi tvrdou hmotu, bývá dno opatřeno vyjímatelnou mísou.

Je možné se setkat např. s destičkovým čističem, který slouží k oddělování nečistot protlačováním přes síto. Kovové nečistoty lze zachytit magnetickými filtry. Je-li takové zařízení zapojeno přímo v systému, bývá opatřeno přepouštěcím ventilem, který čistič přemostí v případě jeho ucpání.

K dalším systémům, které zbavují olej částic otěru, oxidů, rozpustných kyselin a kalu za provozu jsou odstředivé separátory. Odstředivky pracují, jak z názvu vypovídá, na principu odstředivých sil, které jsou na částici tím vyšší, čím je hmotnější – tuhé nečistoty se usazují na vnitřní části bubnu. Olej obsahující značný podíl nečistot se upravuje tzv. klarifikací (voda má možnost se z odstředivky odplavovat) a pokud obsahuje spíše vodu, pak je podrobena purifikaci (rozdíl mezi purifikací a klarifikací je v konstrukci odstředivého bubnu).

Dále existují křemelinové filtry, kdy filtrovaná látka prochází přes několik vrstev tzv. filtračních koláčů z křemeliny, pak kalolisy – protlačování přes papírové nebo textilní filtrační vložky.

Pokud se jedná o olejová hospodářství turbín o výkonech řádově stovek MW, např. jaderných elektráren, čištění kalu probíhá kontinuálně přes usazovače a občasné odstředivkou. U turbín o výkonech několik desítek MW se od usazovačů upouští a čištění kalu se provádí pouze průtokem přes odstředivé separátory. [19], [20], [podle ústního sdělení doc. Ing. Jana Fiedlera, Dr. (zaměstnanec FSI VUT v Brně, Technická 2896/2, Brno) dne 20. února 2017.]

Kompenzátory potrubí

Během přechodu do provozního režimu skříň turbíny podléhá tepelné dilataci, proto je vhodné umístit mezi přívodní olejové potrubí a přední ložiskový stojan kompenzátor potrubí. Kompenzátor lze dle potřeby přidat i na odpadní potrubí. [podle ústního sdělení Ing. Vladimíra Palíka (zaměstnanec Ekol, spol. s r. o., Křenová 65, Brno) dne 14. března 2017]

Další zařízení

Ventilátor olejových par slouží k odsávání olejové mlhy při vstupu oleje do HON a vytváří mírný podtlak v nádrži, který zabraňuje kondenzaci těchto par.

Topné těleso se je použito v případě, kdy strojovna není temperovaná nebo turbína byla odstavena a olej nemá dostatečnou teplotu pro vstup do ložisek. Místo topného tělesa se v některých případech používá k ohřátí oleje maření práce NOČ, kdy olej proudí zvláštní armaturou, částečně přes ložiska turbosoustrojí a poté zpět do HON. Dále se na potrubí umísťují clony, které zajišťují vstup oleje pod stejným tlakem do každého z ložisek. [podle ústního sdělení Ing. Vladimíra Palíka (zaměstnanec Ekol, spol. s r. o., Křenová 65, Brno) dne 14. března 2017]

Hlavní olejová nádrž (HON)

HON je zásobníkem oleje pro olejové hospodářství. Může být buď samostatně umístěná pod turbosoustrojím, nebo být součástí základového rámu. Je vyrobena z ocelových plechů a vyztužena vnitřními přepážkami. Ty slouží k usměrňování toku oleje a dělí nádrž na sekci sběrnou a odplynovací, uklidňovací, filtrační a sací.

Ve sběrné sekci olej vstupuje do nádrže a stéká po plechovém žlabu zasahujícím pod povrch hladiny. V této sekci bývá umístěn i ventilátor olejových par, který odsává páry s mírným podtlakem. V uklidňovací části olej stéká po kaskádových odlučovačích vzduchu. Ve filtrační části olej prochází přes síta určená k předčištění oleje. Obvykle bývají dvě za sebou, aby čištění jednoho síta bylo možné provádět za provozu. Sací koš musí být v dostatečné vzdálenosti od místa vstupu oleje do nádrže, pro bezpečné odplynění oleje před dalším cyklem.

Dno nádrže bývá vyspádováno k hrdlu k vypouštění kalů, nečistot a vody, což se provádí obvykle během provozu. Tvar nádrže má zabezpečit co nejmenší styčnou

plochu oleje se vzduchem a současně minimalizovat plochu stěn nádrže vystavenou korozi.

Pro snadnou údržbu nebo výměnu čerpadel či topného tělesa, jsou tato zařízení přišroubována k odnímatelným víkům na horní stěně nádrže. Další víka slouží pro revizi nádrže nebo kontrolu sít či kaskádového odlučovače.

Místem nejnáchylnějším k poškození bývají u olejových nádrží právě svary. Svary bývají převaženy dalším plechem, jako pojistkou před únikem oleje. Dno nádrže bývá dvojité a při sebemenším úniku oleje do tohoto prostoru, indikační zařízení signalizuje chybu. Další zařízení na nádrži sledují například teplotu oleje, celkovou hladinu oleje v nádrži (stavoznak) a rozdíl hladin před a za sít. [podle ústního sdělení Ing. Zdeňka Bednáře (zaměstnanec Ekol, spol. s r. o., Křenová 65, Brno) dne 9. února 2017.], [podle ústního sdělení doc. Ing. Jana Fiedlera, Dr. (zaměstnanec FSI VUT v Brně, Technická 2896/2, Brno) dne 20. února 2017.], [17], [21]

3.6.5 Turbínové oleje

3.6.5

Na olej pro provoz turbín jsou kladeny vysoké požadavky a jeho jakost je nutné pravidelně kontrolovat. Ve svých funkcích musí být turbínový olej spolehlivý. Při použití olejů ve vlhkém prostředí, olej nesmí ztrácet schopnost smáčet mazané plochy a schopnost se od vody odlučovat. Má mít předepsanou viskozitu a vysokou odolnost vůči stárnutí, dostatečně vysoký bod vzplanutí, viskozitu co nejméně proměnnou s teplotou, nepěnit, chránit kovové plochy vůči korozi. Výrobcem je blíže specifikováno, zda se jedná o turbínový olej. Degradaci maziva lze sledovat chemickými zkouškami nebo např. spektrální analýzou oleje. Jedná se o testy kinematické viskozity, bodu vzplanutí, obsahu vody, neutralizačního čísla a čísla zmýdelnění, test mechanických nečistot, apod. [23]

Viskozita

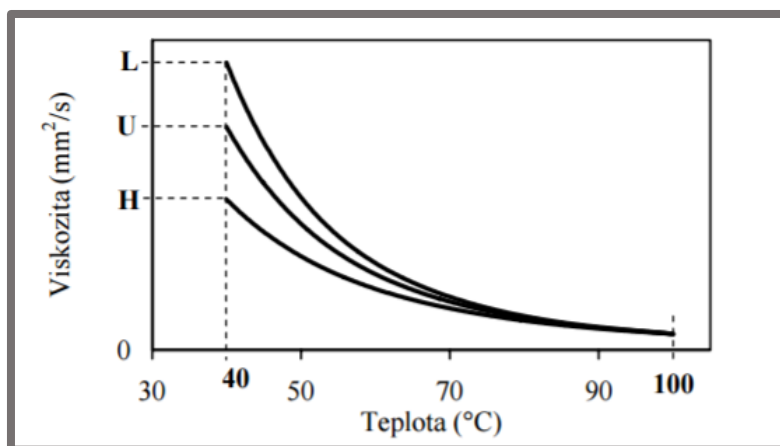
Jedná se o rozhodující vlastnost maziva, co se týče hydrodynamického mazání a je tedy hlavním údajem o mazacích olejích a kritériem pro jejich třídění, je primární podmínkou pro dosažení co nejmenšího opotřebení a tření. Viskozita se během provozu může buď zvyšovat, nebo snižovat. Produkty částečné oxidace oleje a vytvoření emulze s vodou přispívá ke zvýšení viskozity. Naopak snížení viskozity způsobuje především mechanická a tepelná degradace příměsí.

U nás je nejběžnější měřit vazkost olejů ve stupních Englerových [°E], při teplotě 50 °C. Tuto teplotu, při níž byla viskozita oleje naměřena je nutno vždy udat. Co se týče turbín, obvyklá hodnota vazkosti se pohybuje mezi 3 až 7 °E při 50 °C. Minimální hodnota vazkosti postačující pro tvorbu souvislého olejového filmu je 1,5 °E při provozní teplotě. Platí, že pro nižší obvodové rychlosti čepu v ložisku jsou žádány oleje o vyšších viskozitách a při vyšší teplotě ložisek se požadují oleje s vyšší

viskozitou měřenou při 50 °C. [23] [podle ústního sdělení Ing. Vladimíra Palíka (zaměstnanec Ekol, spol. s r. o., Křenová 65, Brno) dne 4. dubna 2017.]

Viskózní index (VI)

Je hodnotou charakterizující teplotní proměnlivost viskozity. Viskozita s rostoucí teplotou klesá a viskózní index je tím vyšší, čím méně je proměnlivá viskozita oleje se vzrůstající teplotou. Pro stanovení indexu se porovnává viskozita oleje při teplotě 40 °C a 80 °C se standardními hodnotami. Standardem s viskózním indexem rovným 0 je olej z cykloalkanické mexické ropy (viskozita se značně mění) a standardem s VI rovným 100 je olej z pensylvánské ropy (viskozita se mění velmi málo). U turbínových olejů nabývá index hodnot od 60 až 80. [podle ústního sdělení Ing. Vladimíra Palíka (zaměstnanec Ekol, spol. s r. o., Křenová 65, Brno) dne 4. dubna 2017.]



Obr. 3-19 Závislost viskozity na teplotě [29]
(standardní oleje s VI = 0 (L), VI = 100 (H) a vybraný olej, jehož VI se stanovuje (U))

Neutralizační číslo

Neutralizační číslo je množství KOH v mg potřebné ke zneutralizování volných kyselin obsažených v 1 g oleje. Toto číslo se též nazývá číslem kyselosti. Nový olej neobsahuje žádné volné kyseliny a málo chemicky vázaných kyselin. Opotřebení oleje vznikají vázané kyseliny, ty se mění na volné, které ovlivňují korozivitu. Jejich množství se stanovuje titrací oleje hydroxidem draselným. Nemůže nastat případ, kdy by olej byl zásaditý. [18], [23]

Číslo zmýdelnění

Číslo zmýdelnění je množství KOH v mg potřebné ke zneutralizování volných kyselin a ke zmýdelnění esterů v 1 g oleje (estery vznikají oxidací oleje a tvoří úsady, lepivé kaly). Je ukazatelem celkového opotřebení oleje a známkou stupně rafinace, jelikož čisté minerální oleje, jejichž číslo zmýdelnění nabývá hodnot obvykle mezi 0,1 až 0,2, nelze zmýdelnit. Pro turbínové oleje se číslo zmýdelnění požaduje o hodnotě nejvýše

0,15. U nových olejů je toto číslo mezi 0,02 až 0,1 mg KOH/g. Výjimkou jsou upravované oleje, které jsou vyhovující i v případě, kdy je číslo zmydlnění mezi 0,3 až 0,6. [18], [23]

Sklon k stárnutí

Stárnutím se mají na mysli veškeré fyzikální a chemické změny v oleji nastalé během provozu. Vedle vazkosti je stárnutí nejdůležitější vlastností oleje. Stárnutí se projevuje vzrůstem čísla zmydlnění a neutralizačního čísla. Pro stanovení míry znehodnocení oleje je třeba vždy znát jeho stav před použitím. Riziko oxidace je u oběhového mazání značné, jelikož v systému olej rychle cirkuluje, mění svou teplotu, dostává se do styku se vzduchem a vodou.

Vliv teploty

Turbínový olej v oběhu prochází širokým teplotním intervalem a nesmí přesáhnout hodnotu cca 80 °C, pak by nastala velmi rychlá degradace. Nedodržení teploty oleje má negativní vliv na funkčnost ložisek. S rostoucí teplotou zároveň roste i rychlost stárnutí oleje.

S klesající teplotou oleje, roste jeho viskozita. Při nižších teplotách olej vykazuje vyšší přilnavost k povrchu hřídele a tím dochází k jeho vláčení ložiskem. Čím nižší je teplota, tím vyšší množství oleje je takto vláčeno, což výrazně narušuje stabilitu olejového klínu. Tloušťka klínu se cyklicky mění a rotor začne vibrovat, dochází buď k tlučení, nebo k víření oleje.

Vliv vzduchu

Vzduch se do oleje dostává např. z vnějška přes netěsnosti nebo zviřením oleje. V turbínovém oleji se vyskytuje v podobě bublinek. Čím větší je povrch oleje, který přichází do styku s kyslíkem, tím rychlejší je stárnutí. S rostoucím množstvím kyslíku obsaženým v oleji, klesá jeho viskozita, což se projeví horší kvalitou mazací vrstvy.

Schopnost účinně odlučovat vzduch je vlastností oleje a podmínkou pro správné fungování regulačního systému. Vzduchové bubliny v potrubí regulačního oleje a jejich únik přes clony, klapky, vedou k výchylkám regulace. Z tohoto důvodu se do olejových nádrží přidávají vestavby – šikmé plechy uspořádané nad sebou, které odlučování bublin vzduchu usnadňují. S nedostatečným odlučováním vzduchu z oleje je spjato pění, což nepříspívá ke správnému ochlazování oleje v nádrži.

Odlučivost lze stanovit ze zkoušky odlučivosti vzduchu podle ČSN ISO 9120. Měřením měrné hmotnosti se kontroluje množství obsaženého vzduchu v oleji a jako výsledek zkoušky se uvádí čas, za který se množství oleje snížilo na určitou hodnotu. S odlučivostí vzduchu souvisí pění oleje. Pro snížení pění existují aditiva, jejichž množství je třeba správně určit pro daný objem oleje. Příliš mnoho přísad proti pění by mohlo ztížit unikání plynových bublinek z oleje a pěnivost by se naopak zvýšila.

Vliv vody

Se změnou viskozity také souvisí existence vody, která způsobuje tvorbu kalů, snížení oxidační stability, pohlcení aditiv z oleje a tvorbu emulze s částečně zoxidovaným olejem. Ta působí zrychlené stárnutí a vzrůst viskozity, což může působit nedostatečné mazání třecích ploch. Jakost turbínového oleje se posuzuje hlavně podle přítomnosti vody (max. 0,5%). Voda se do oleje může dostat netěsnostmi v olejovém chladiči, popř. proniknutím páry do ložiskových stojanů. Voda je nežádoucí i v regulačním systému, kde může způsobit funkční závadu. Nelze ji však z oleje zcela odstranit

Oxidace, tedy ani stárnutí se nelze zcela zbavit, ale je možné ji zpomalit přidáním antioxidačních prostředků – derivátů uhlovodíků, nerozpustných ve vodě, takže jejich množství s odpouštěním vody neklesá. Zkoušky takto upravených olejů dokázaly, že zatímco upravený olej měl po 7500 hodinách provozu téměř původní vlastnosti, čistý minerální olej značně zestárnul.

Voda způsobuje korozi třecích povrchů, čímž může docházet k jejich vyššímu opotřebení. Jedná se o primární korozi, která je způsobena pouze vlhkým prostředím a objevuje se např. vespod olejové nádrže. Sekundární koroze se vyvíjí při stárnutí oleje a napadá celý oběhový systém, zejména broušené plochy. Proti sekundární korozi se přidávají chemické přísady (nejčastěji derivátů nafty), které vytvoří na olejem smáčených plochách ochranný film a přitom nedochází ke změnám mazací schopnosti oleje. Oleje s dvojí úpravou – antioxidační a antikorozní, představují nejlepší turbínové oleje.

Směsi tvořené v olejovém systému lze rozlišit na:

a) Směs oleje a vody

V tomto případě je olej kalný, obsah vody se pohybuje mezi 0,1 až 0,5 %. V olejovém systému lze objevit vodu a chceme-li se jí zbavit, je možné použít odkalovací hrdlo nádrže, popř. ohřát olej na 75 až 80 °C a výsledkem je čistý olej.

b) Suspenzi oleje, vody a kalu

Olej je kalný, obsahuje plovoucí nečistoty (prach, rez, kal), obsah vody je kolem 1 %. Pokud je odebrán vzorek oleje, vespod vzorku je voda s nečistotami a kalem, nad ní suspenze oleje, vody, kalu a nečistot a nahoře je směs oleje a vody a plovoucích nečistot. Je-li vzorek ohříván na 75 až 80 °C a současně filtrován, dojde k vyloučení kalu a vody a výsledkem je čistý olej.

c) Emulzi

Olej je kalný, žlutý, bílý nebo světle hnědý. Emulze je systém tvořený dvěma nemísitelným, popř. omezeně mísitelnými látkami, kdy jedna je rozptýlena ve druhé. V tomto případě nefungují postupy s ohřevem a filtrací. Existují dva případy kdy je nutno vyměnit olejovou náplň a celý systém vyčistit. Prvním je nárůst neutralizačního čísla na hodnotu 3,0 a čísla zmýdelnění na hodnotu 6,0. Druhým je právě výskyt emulze v oleji. Za normálních okolností k promíchání vody s olejem nedochází v důsledku velkého povrchového napětí tohoto

rozhraní. Pokud olej obsahuje navíc nečistoty, pak tyto nečistoty působí jako surfaktanty, tedy látky snižující povrchové napětí rozhraní, což způsobí tvoření stabilní emulze. Proto musí být olejový systém pravidelně odkalován a filtrován.

Mezi zkoušky pro stanovení množství vody v oleji patří např. vizuální zkouška a prskací zkouška. Vizuální zkouška je vhodná pro orientační posouzení jakosti oleje. Provádí se odebráním vzorku z oleje a jeho dokonalým protřepáním. Pokud je v oleji obsaženo větší množství vody než je 0,025 %, pak se olej zakalí. V opačném případě zůstane olej čirý.

Prskací zkouška se provádí kápnutím 2 až 3 kapek homogenního vzorku oleje na zkušební plochu o teplotě přibližně 180 °C. Pokud je v oleji obsaženo více než 0,02 % vody, pak dochází k tvorbě drobných bublinek. Tato metoda je velmi vhodná pro provozní podmínky, někdy nazývána zkouškou žehličkou.

Stav oleje lze měřit kolorimetrií, která je i standardem ASTM D7843 pro stanovení potenciálu oleje k tvorbě úsad (tzv. varnish potenciálu). Tato metoda analyzuje zabarvení membrány, přes kterou proteče dané množství oleje a porovnává ji s etalonem – čistě bílou membránou. Ze zkoušky je získána hodnota MPC (Membrane Patch Colorimetry). Vyšší hodnota MPC znamená větší barevnou diferenci mezi vzorkem a vzorem, což znamená nižší spolehlivost a životnost stroje.

Dalšími, přesnějšími zkouškami jsou Coulometrická metoda a destilační zkouška, jejichž postup je vypracovaný v ČSN ISO 760 a ČSN EN ISO 9029.



Obr. 3-20 Zkoušky kolorimetrií dvou turbínových olejů [22]

Vliv elektrických výbojů

Když mazivo intenzivně proudí velmi úzkými spárami v ložisku, může docházet k tvorbě elektrostatického náboje, který vzniká v důsledku vzájemného tření molekul maziva. Jakmile dojde k vybití náboje elektrickým obloukem (ESD – Electrostatic Spark Discharge), lokálně narůstá teplota až nad 10 000 °C. To způsobuje bodové poškození hřídele a kompozice ložiska – korozi a také tvorbu kovových par, které v oleji kondenzují. Kovové částice mají pak pozitivní vliv na stárnutí oleje a zvýšení tvorby kalu. [20], [22], [23], [podle ústního sdělení Ing. Vladimíra Palíka (zaměstnanec Ekol, spol. s r. o., Křenová 65, Brno) dne 11. dubna 2017.]

Bod vzplanutí a bod tuhnutí

Bod vzplanutí je teplotou vznícení olejových par od otevřeného plamene. Je nejen jakostním, ale i bezpečnostním faktorem. Stanovuje se převážně ze zkoušky dle Clevlanda a Marcusona. U turbínových olejů se tato hodnota pohybuje kolem 190 °C a jejich bod varu se pohybuje kolem 250 až 300 °C.

Bod tuhnutí není příliš významným údajem pro parní turbíny. Nicméně v nevytápěných strojovnách je nutné vždy olej předeheřt. Bod tuhnutí olejů bývá obvykle mezi 0 až -20 °C. [podle ústního sdělení Ing. Vladimíra Palíka (zaměstnanec Ekol, spol. s r. o., Křenová 65, Brno) dne 11. dubna 2017.]

Filtrace

Častými příčinami vzniku problémů v mazacích systémech bývá tvorba usazenin, která způsobuje poruchy mazání, zadírávání ventilů, převodovek, čerpadel, zanášení filtrů, zvyšování opotřebení kompozice i efektivitu chlazení oleje. A jelikož se na olejová hospodářství kladou vysoké požadavky na bezpečnost a spolehlivost, pak eliminace těchto úsad, přesněji měkkých nečistot zabarvující olej do hněda, je klíčová. Měkké nečistoty jsou produkty degradace oleje a aditiv za zvýšených teplot a přítomnosti kyslíku. Tyto produkty mají tendenci se shlukovat, ulpívat na mazaných součástech a narušovat olejový film. Výsledkem je vyšší tření, nárůst teploty, vyšší namáhání, rychlejší opotřebení.

V olejových systémech je snahou dosáhnout co nejdelší životnosti oleje, proto olej prochází mechanickým a chemickým čištěním. Opuštěný kal ze dna olejových nádrží bývá takovému procesu podroben. Čištění je efektivnější, pokud olej má vyšší teplotu, jelikož s vyšší teplotou klesá viskozita a nečistoty se od něj snáz oddělí. Podobně, čím větší je rozdíl hustot složek, tím snazší je separace. Mechanicky je olej čištěn usazováním, odstředováním, filtrací, promýváním vodou, destilací a adsorpcí. [20], [23]

Regenerace

Jak bylo výše zmíněno, olej po delší době v provozu podléhá stárnutí, což se projeví zvýšením zásaditě nebo kysele reagujících složek. Úkolem regeneračních procesů je snížení čísla kyselosti. Jedná se o tzv. práškování a k tomu se užívá aktivní hlínky, která kromě zvýšení oxidační odolnosti, oleji dodá deemulgační vlastnosti. Hlínka svou adsorpční schopností váže nežádoucí složky, s nimiž je pak zachycena ve filtru. Při použití hlínky i jako filtračního materiálu, zvýší se účinnost regenerace. [20]

4 DISKUZE

Dohled na správný tlak oleje v ložiskách turbosoustrojí je důležitý. V případě nedodržení požadovaného tlaku hrozí celá řada potíží.

Příliš nízký tlak mazacího oleje způsobuje nižší průtok oleje ložisky a ložiska se hůře chladí. Ohřátý olej pak ztrácí své mazací schopnosti a může docházet ke kontaktu mezi rotorem turbíny a kompozicí ložiska. Hrozí rozvibrování rotoru turbíny, což může způsobit kolizi lopatkování nebo olejových ucpávek generátoru. Mezi důvody nízkého tlaku patří netěsnosti v olejovém systému, zanesení filtru nebo olejového chladiče, nízké množství dodávaného oleje čerpadlem, nedostatečně otevřené ventily na výtlačném potrubí. Netěsnosti jsou řešeny kontrolou ventilů, klapek a armatur. Při zanesení se jednoduše přepne na druhou větev a zanesená větev je mezitím vyčištěna. Nízký tlak od HOČ může být způsoben netěsnostmi potrubí a ucpávek čerpadla nebo nedostatečně otevřenými ventily na výtlačném potrubí. Pokud je však HOČ vadné, následuje jeho výměna, zatímco olej dodává pomocné čerpadlo.

Kvůli nízkému tlaku zvedacího oleje může být vydírána ložisková kompozice nebo znemožněna funkce natáčecího zařízení. Nepracující natáčecí zařízení pak má za následek zpoždění během najíždění turbíny.

Pokud dojde k selhání přetlakových ventilů a poruše těsnosti na armatuře, může dojít nejen ke ztrátě tlaku oleje, ale hrozí i nebezpečí požáru při kontaktu oleje s horkým tělesem turbíny.

Některé výše uvedené případy havárií, týkající se zejména ztráty tlaku oleje mohou mít poměrně vážné následky. Z toho důvodu jsou zautomatizována jistá ochranná opatření.

Při poklesu tlaku dochází nejdříve ke spuštění pomocných olejových čerpadel. Další pokles tlaku je signalizován poplachem, poté jsou spuštěna nouzová olejová čerpadla. Pokud se nadále nedaří udržet tlak oleje, dochází k odstavení turbíny. Hlavní ochranou vůči přetlakování poskytuje přetlakový ventil, který bývá umístěn za HOČ a NOČ.

I nízká teplota oleje může způsobit přehřívání. S vyšší viskozitou roste totiž i odpor oleje vůči proudění zásobovacími kanálky ložisek, tzn. je snížena průtočnost, která může vést k jejich nedostatečnému chlazení, přehřátí.

Příliš vysoká teplota oleje vede k přehřívání ložisek, kontaktu mezi ložisky a hřídelem a k nižší tlumící schopnosti oleje. Snížení viskózních sil znamená nižší tloušťku klínu, tzn. vyšší riziko kontaktu hřídele s ložiskem i nižší schopnost tlumení vibrací rotoru. Pro zabránění poškození turbíny, ať už kvůli vibracím nebo přehřátým ložiskům, dochází opět k jejímu odstavení – snížení produkce energie.

Olej obsahuje nečistoty, jako jsou stopy vody, produkty oxidace, plyny (vzduch, H₂, CO₂, olejová pára) a abrazivní částice. Přítomnost produktů oxidace a vody způsobuje nadměrné stárnutí oleje, horší mazací a chladicí schopnosti. Plyny působí rovněž negativně na vlastnosti oleje (stárnutí, vyšší pěnivost) a mohou tvořit s olejem směsi

zvyšující riziko vzplanutí. Abrazivní částice nasáté z okolí (např. působením ventilátoru olejových par) přispívají jednak ke tvorbě kalu, ale navíc odírají ložiskovou kompozici popř. ucpávky na generátoru, u nichž pak může v delším časovém horizontu dojít k narušení těsnosti.

Je vhodné dbát na kvalitní, pravidelné čištění a kontrolu stavu náplně olejového hospodářství. Je vhodné, aby olej byl čištěn kontinuálně a ani v případě odstavení turbíny, by nemělo docházet k zastavení činnosti filtru na delší dobu.

Doporučuje se také pravidelná kontrola rozdílů tlaků před a za sítí, filtračních prvků a zabezpečení správného podtlaku v olejové nádrži k zabránění kondenzace olejových par. Kromě chemických rozborů náročných jak časově, tak z hlediska korektního odběru vzorků, je vhodné provádět i zkoušky nenáročné, např. kolorimetrii či pouhou vizuální zkoušku – sledování zbarvení oleje. V případě nárůstu znečištění vodou je nutná kontrola chladičů nebo labyrintových ucpávek. Pokud je znečištění vodou velmi výrazné, provádí se vypuštění a proplach olejového systému, včetně vyčištění nádrže a všech zařízení.

Problémy v systému mohou nastat i volbou nevhodné výšky hladiny oleje v olejové nádrži. Nízká hladina oleje znamená riziko nasátí vzduchu čerpadlem, kdy pak může docházet nejen k procesu kavitačního opotřebení a rychlé zkáze lopatek čerpadla, ale i ke ztrátám výkonu čerpadla, což se projeví poklesem tlaku. Vysoká hladina oleje také není řešením, jelikož při odstavení a stečení oleje ze všech komponent systému může dojít k přeplnění nádrže a úniku oleje.

Hlášení o nízké hladině oleje může způsobit nejčastěji únik oleje poškozenou armaturou, olejovými ucpávkami nebo chladičem. Oproti tomu signál o příliš vysoké hladině oleje v nádrži může být zaviněn průnikem vody do olejového systému nebo nadměrným doplněním oleje, velkým množstvím oleje klesajícím ze všech částí olejového hospodářství při odstavení zařízení.

Příčinou havárií může být i selhání nouzových systémů při doběhu turbíny, tj. závada na čerpadlech nebo jejich pohonu – selhání elektromotoru, dieselagregátu nebo baterií, kdy po delší době dojde k jejich vybití. V tomto smyslu je výhodnější umístění HOČ na společném hřídeli s turbínou nebo na převodovce, jelikož zástava všech čerpadel nezpůsobí úplné přerušení přívodu oleje.

Základní vlastností olejového systému musí být spolehlivost, bezpečnost a životnost. Selhání olejového hospodářství může znamenat zničení stroje. I k takovým událostem v minulosti došlo, kdy rotor po zadření opustil strojovnu či únik velkého množství oleje způsobil požár a vyhoření celé stroje.

Proto je málokterý prvek na turbosoustrojích zálohován tak, jako olejové hospodářství. I samotný návrh olejového systému je značně limitován a řízen přísnými předpisy (API 614), obsahující podrobné informace o všech zařízeních, přes potrubí k samotnému testování, přepravu, umístění a zálohování olejového systému. Doporučení k řešení potíží s olejovým hospodářstvím a obecně s turbínou, je držet se provozních předpisů.

Při konzultaci problematiky olejového hospodářství jsem zaregistroval neshodný názor zaměstnanců stejného podniku na určitý problém. Jednalo se o umístění odvodu pro sání kalu z HON, kdy jedna strana navrhuje umístění před síty, druhá za síty. Dle mého názoru by bylo vhodné umístit sání jak před síta, tak i za ně (popřípadě mezi síta). Před prvním sítem sice dochází k hromadění největšího množství odfiltrovaného kalu, nicméně v momentě čištění jednoho a následně druhého síta musí z důvodu proudění dojít k posuvu kalu do meziprostoru sít a při dalším čištění pak za síta. Kal nasátý čerpadlem pak zbytečně zanáší olejové filtrační vložky.

V současné době přibývá míra automatizace energetických celků a případná chyba může způsobit celou škálu dalších chybných hlášení na závislých zařízeních (to bývá ošetřeno, tzv. redundancí – shoda 2 z 3 měřidel znamená chybu 3. zařízení). Proto postupy při všech signalizovaných chybách jsou jednoznačně dány provozními předpisy každého dodavatele turbín, jenž je nutné znát. [podle ústního sdělení doc. Ing. Jana Fiedlera, Dr. (zaměstnanec FSI VUT v Brně, Technická 2896/2, Brno) dne 4. dubna 2017.], [24], [25]

5 ZÁVĚR

Olejové hospodářství je pro fungování nesmírně důležité, přesto však nepatří mezi hlavní součásti. Jedná se o pomocný systém, kde konečné slovo, například při výběru čerpadel, má provozovatel. Při realizaci projektu je mnohdy pak upřednostněna nižší cena před vyšší kvalitou, dochází k častým poruchám a finančním ztrátám. Návrh a případné změny ve fázi realizace by měly být dobře zváženy a olejové hospodářství tvořeno zodpovědně.

Práce se zabývá problematikou olejového hospodářství parních turbín, tj. zařízeními olejového systému, v dnešní době obvykle instalovanými jako celek spolu se základovým rámem, požadavky na turbínový olej a problémy olejového systému a jejich řešení při provozu. Veškeré cíle práce byly splněny.

V úvodní části práce byly nastíněny principy funkce parních zařízení a v souvislosti s tím i jejich historie od samého počátku, až po vynález parní turbíny. Byly zmíněny i podniky zabývající se výrobou parních turbín na českém území.

Dále byl prezentován cyklus parních turbín, včetně procesů a zařízení, kterými médium během parního cyklu prochází. Pozornost byla poté věnována rozdělení parních turbín a pro názornost popisu částí zařízení bylo využito schématu.

Následuje seznámení s účelem olejového hospodářství v celku s parní turbínou a průběhem olejového cyklu. Představeno je i několik kritérií, na která je třeba během návrhu systému brát zřetel a samotná zařízení včetně jejich podrobného popisu a funkce. U turbínových olejů jsou kladeny vysoké nároky na životnost, odlučivost vzduchu, chemickou stálost. V důsledku kontaktu oleje s nečistotami, plyny a vodou během provozu turbíny, dochází po čase k jeho degradaci a ztrátě požadovaných vlastností, což může mít zásadní vliv na provoz a regulaci stroje.

Problémům způsobených nezajištěním správných parametrů oleje vstupujícího do olejového cyklu a jejich řešením byla věnována diskuze doplněná o návrh autora. Vzhledem k tomu, že i nevelké kolize u těchto rotačních strojů mohou mít vážné následky, je třeba oleji věnovat péči a neustále sledovat jeho stav.

Práce navazující na tento text, by se mohla věnovat konstrukčnímu řešení olejové nádrže, včetně výpočtových simulací proudění oleje v nádrži a na základě nich volit optimální uspořádání jednotlivých komponent v ní instalovaných.

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] History of Technology. *The Electropaedia* [online]. Chester (United Kingdom): Woodbank Communications, 2005 [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <http://www.mpoweruk.com/history.htm>
- [2] ŠKORPÍK, Jiří. Tepelné oběhy a jejich realizace, *Transformační technologie*, 2006-11, [last updated 2015-10]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <http://www.transformacni-technologie.cz/06.html>
- [3] *Muzeum starých strojů* [online]. Žamberk, [21.století] [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <http://www.starestroje.cz>
- [4] Steam turbine. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2017 [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Steam_turbine
- [5] *100 let: historie a současnost vývoje a výroby parních turbín v Brně*. Praha: Trilabit, c2002. ISBN 80-902681-2-9.
- [6] *55 let První brněnské strojírny ve Velké Bíteši*. Velká Bíteš: První brněnská strojírna, 2005. ISBN 80-254-3181-9.
- [7] NOVÁČEK, Bohuslav a František MICHELE. *První brněnská strojírna*. I., Vývoj První brněnské strojírny 1814-1993. Brno: Bohuslav Nováček, 1999.
- [8] Škoda (podnik). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2017 [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0koda_\(podnik\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0koda_(podnik))
- [9] BRUNER, Štěpán. Vývojové centrum Doosan Škoda Power: špičkové turbíny z Plzně se rodí v hluku a pachu. *E15* [online]. 2016 [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <http://nazory.e15.cz/reportaze/vyvojove-centrum-doosan-skoda-power-spickove-turbiny-z-plzne-se-rodí-v-hluku-a-pachu-1323432>
- [10] G-Team: malé parní turbíny s českým rodným listem. *Hospodářské noviny* [online]. Economia, 2009 [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <http://archiv.ihned.cz/c1-38315140-g-team-male-parni-turbiny-s-ceskym-rodnym-listem>
- [11] PAVELEK, Milan. *Termomechanika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. Učební texty vysokých škol. ISBN 978-80-214-4300-6.
- [12] Saturated steam vs superheated steam. *Lalonde sythermique* [online]. Longueuil (QC): lalondesysthermique, 2010 [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <http://www.systhermique.com/steam-condensate/services/troubleshooting/superheated-steam/>
- [13] ŠKOPEK, Jan. *Tepelné turbíny a turbokompresory*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2010. ISBN 978-80-7043-862-6.
- [14] ŠČEGLJAJEV, Andrej Vladimirovič a Boris Michajlovič TROJANOVSKIJ. *Parní turbíny: teorie tepelného děje a konstrukce turbín: příručka pro vysoké školy technického směru*. Praha: SNTL, 1983.
- [15] Products and services - Steam turbines: Some references. *Ekol spol. s r.o.* [online]. Brno: Bussiness Factory, c2004-2012 [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <http://www.ekolbrno.com/steam-turbines.html>
- [16] SIDDQUI, Mohammad Shoeb. Steam turbine. In: *SlideShare* [online]. Pakistan: LinkedIn Corporation, 2013 [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/MohammadShoebSiddiqu/steam-turbine-25385365>
- [17] *Modern Energetics* [online]. Modern Energetics, 2014 [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <http://mda139.net/>

- [18] AMBROŽ, Jaroslav. *Parní turbíny*. Sv. 2., Konstrukce, regulace a provoz parních turbin. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1956.
- [19] HELEBRANT, František, Ladislav HRABEC a Jan BLATA. *Provoz, diagnostika a údržba strojů: Maziva a mazací soustavy* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013 [cit. 2017-03-17]. ISBN 978-80-248-3028-5. Dostupné z: http://www.340.vsb.cz/doc/cms_library/provoz-diagnostika-a-udrzba-stroju-189.pdf
- [20] ROHÁČ, Jaroslav. *Mazací zařízení: přehled mazacích zařízení a potřeb pro olejové hospodářství v průmyslu*. Praha: Práce, 1957. Knižnice Svazu zaměstnanců strojírenství.
- [21] BOYCE, Meherwan P. *Gas Turbine Engineering Handbook*. 3. Elsevier Science, 2006. ISBN 0750678461.
- [22] Nové trendy v turbínových olejoch. *Tribotechnika: časopis o trení, opotrebování a mazání* [online]. Žilina: Techpark, c2008-2017 [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-12012/nove-trendy-v-turbinovych-olejoch.html>
- [23] *Tribotechnické informace: maziva, oleje, technologické kapaliny*. Techmagazín, 2013, **2013**(1).
- [24] ENTID, J. Jung. *Module 234-10: THE TURBINE LUBRICATING OIL SYSTEM*. 1994. Dostupné také z: <https://canteach.candu.org/Content%20Library/20042410.pdf>
- [25] API STD 614. *Lubrication Shaft-Sealing and Control-Oil Systems for Special-Purpose Applications*. Washington: American Petroleum Institute, 1999
- [26] Branca, Giovanni. *Owen Bosma* [online]. Belleville Ont. (Canada): Owen [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://home.cogeco.ca/~obosma/brancaengine.html>
- [27] Historie. *Amulle* [online]. Brno: Amulle [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://www.amulle.cz/o-arealu/historie/>
- [28] FIEDLER, Jan. Olejové hospodářství parní turbíny. Presentation presented at: [PGS-EKOL; 2010 Sep 14; Brno, Czechia.]
- [29] Shell and Tube Heat Exchangers. *SHECO* [online]. Tuscaloosa (USA): Southern Heat Exchanger, c1961-2017 [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://www.souheat.com/>
- [30] Heat Exchanger - ALFA Laval M6MFM Exporter from Bhavnagar. *Indiamart* [online]. Bhavnagar (India): IndiaMART InterMESH, c1996-2017 [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/al-tech-centrifuges/heat-exchanger.html>
- [31] DEMMA, Dave. Chiller basics - HPAC Magazine. In: *HPAC* [online]. Canada: Annex Business Media, 2015 [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://www.hpacmag.com/features/chiller-basics-supermarket-refrigeration-comfort-cooling/>
- [32] BLAŽEK, Josef a Vratislav RÁBL. *Základy zpracování a využití ropy*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-7080-619-2.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

7

i [h^{-1}]	-oběhové číslo
V [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]	-objemový průtok
V_n [m^3]	-objem olejové nádrže
HON	-hlavní olejová nádrž
HOČ	-hlavní olejové čerpadlo
NOČ	-najížděcí olejové čerpadlo
VI	-viskózní index

8 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 3-1 Aelolipile [1]	14
Obr. 3-2 Saveryho parní čerpadlo [2]	15
Obr. 3-3 Newcomenův parní stroj [1]	15
Obr. 3-4 Threvithickova lokomotiva [1]	16
Obr. 3-5 Obrázek z knihy Le Machine [26]	17
Obr. 3-6 Turbína Gustava Laval [1]	18
Obr. 3-7 Rozdíl mezi rovnotlakou a přetlakovou turbínou [1]	19
Obr. 3-8 První brněnská strojírna ve svých počátcích [27]	19
Obr. 3-9 Rankine-Clausiiův cyklus v T-s diagramu [11]	21
Obr. 3-10 Přetlaková turbína společnosti Ekol [15]	23
Obr. 3-11 Parní turbína se dvěma regulovanými odběry [15]	25
Obr. 3-12 Parní turbína s teplotním odběrem [15]	25
Obr. 3-13 Tvorba olejového klínu v závislosti na úhlové rychlosti [16]	27
Obr. 3-14 Schéma olejového hospodářství [28]	27
Obr. 3-15 Trubkový výměník [29]	33
Obr. 3-16 Rozebíratelný deskový výměník [30]	33
Obr. 3-17 Letovaný výměník [31]	34
Obr. 3-18 Schéma sedimentační nádrže [17]	35
Obr. 3-19 Závislost viskozity na teplotě [29]	38
Obr. 3-20 Zkoušky kolorimetrií dvou turbínových olejů [22]	41